

Luiz Henrique dos Santos

**FRAÇÕES ORGÂNICAS E ATRIBUTOS QUÍMICOS EM
AGREGADOS DO SOLO SOB SISTEMAS DE PLANTIO
DIRETO E CONVENCIONAL DE CEBOLA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós
Graduação em Agroecossistemas da Universidade
Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau
de Mestre em Agroecossistemas.

Orientador: Prof. Dr. Arcângelo Loss
Coorientador: Prof. Dr. Jucinei José Comin

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

dos Santos, Luiz Henrique

Frações orgânicas e atributos químicos em agregados do solo sob sistemas de plantio direto e convencional de cebola / Luiz Henrique dos Santos ; orientador, Arcângelo Loss ; coorientador, Jucinei José Comin. - Florianópolis, SC, 2016.

87 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas.

Inclui referências

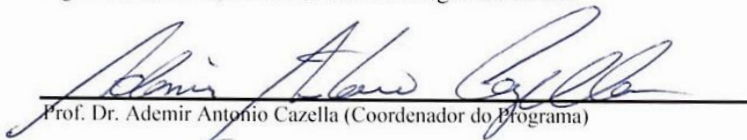
1. Agroecossistemas. 2. Agricultura de base ecológica. 3. Manejo do solo. 4. Agregados do solo. 5. Substâncias húmicas. I. Loss, Arcângelo. II. José Comin, Jucinei. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós Graduação em Agroecossistemas. IV. Título.

**“Frações orgânicas e atributos químicos
em agregados do solo sob sistemas de
plantio direto e convencional de
cebola.”**

Por

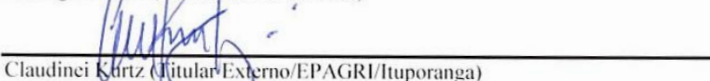
LUIZ HENRIQUE DOS SANTOS

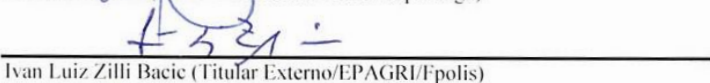
Dissertação julgada adequada, em 19 de fevereiro de 2016, e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e Membros da Banca Examinadora, para obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas. Área de Concentração Agroecologia, no Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias/UFSC.


Prof. Dr. Ademir Antonio Cazella (Coordenador do Programa)

Banca Examinadora:

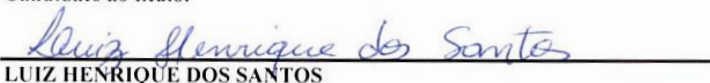

Arcangelo Loss (Presidente /Orientador)


Claudinei Kurtz (Titular Externo/EPAGRI/Ituporanga)


Ivan Luiz Zilli Bacic (Titular Externo/EPAGRI/Epolis)


Cledimar Rogério Lourenzi (Titular /UFSC/PGA)

Candidato ao título:


LUIZ HENRIQUE DOS SANTOS

Florianópolis, 19 de fevereiro de 2016

Ao meu avô, Manoel Barbosa Abreu (*in memoriam*).

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, aos meus ancestrais e ao acaso, pela vida, direcionamento e proteção, principalmente nos momentos de distração.

À minha família e aos meus amigos de longa data, pela compreensão, amizade e palavras de apoio nos momentos de instabilidades.

Em especial, agradeço ao meu orientador Arcângelo Loss, sobretudo pelo exemplo de profissionalismo, pela orientação, paciência, ensinamentos e confiança depositados ao longo deste percurso.

Ao meu co-orientador Jucinei José Comin e aos professores Cledimar Rogério Lourenzi, Gustavo Brunetto e Paulo Emílio Lovato, pelos ensinamentos, indagações, provocações e incentivo, essenciais para minha motivação no mestrado, amadurecimento e formação acadêmica.

Aos pesquisadores da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina-EPAGRI, Jamil Fayad Abdala e Ivan Luiz Zilli Bacic, pelas dicas, sugestões e experiências passadas em nossos breves encontros e conversas.

Aos amigos e colegas de laboratório e do Departamento de Engenharia Rural da UFSC, pelo companheirismo no desenvolvimento das pesquisas, pelos momentos de descontração e pela amizade.

A turma de Mestrado em Agroecossistemas 2014.1, especialmente Rafaela Garcia, Maurício Viegas, Marenice Teleginski, Leôncio Koucher e Ludmila Machado, pelo apoio, amizade e ambiente agradável de trabalho e aprendizagem.

Às pessoas que tive a honra e o prazer de conhecer desde que cheguei a Florianópolis e que certamente levarei para a vida. Em especial, minha amiga e companheira Bianca Meotti, amigos Junior Carlin, Leandro Estrada, Rosângela Ortiz e Li Klein, amigos e colegas Rodolfo de Assis e Ludiana Canton.

Ao CNPq pelo apoio financeiro (Chamada MCTI/MAPA/MDA/MEC/MPA/CNPq Nº 81/2013 e Chamada Universal – MCTI/CNPq Nº 14/2014).

À Estação Experimental da EPAGRI de Ituporanga, SC, pela disponibilidade da área experimental.

Aos órgãos CAPES e FAPESC, fontes financiadoras das bolsas obtidas para a realização do mestrado.

Gratidão.

RESUMO

O uso e o manejo do solo para fins agrícolas ocasionam alterações na qualidade edáfica e ambiental e, consequentemente, na capacidade produtiva e sustentabilidade dos agroecossistemas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do sistema de preparo convencional (SPC) do solo e do sistema de plantio direto sem agrotóxicos, para o cultivo da cebola, sobre as frações orgânicas e atributos químicos em agregados do solo. Os tratamentos constituíram-se do cultivo de cebola sob o sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH) com a utilização de diferentes espécies, solteiras e consorciadas, para a cobertura do solo: vegetação espontânea; 100% aveia; 100% centeio; 100% nabo forrageiro; consórcio de nabo forrageiro (14%) e centeio (86%); consórcio de nabo forrageiro (14%) e aveia (86%). Adicionalmente, foram avaliadas uma área sob SPC do solo com cultivo de cebola por 37 anos e uma área de mata (floresta secundária; 30 anos), adjacentes ao experimento. Amostras indeformadas de solo foram coletadas cinco anos após a implantação do SPDH nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Destas, foram obtidos os agregados do solo ($8,00\text{ mm} > \varnothing \geq 2,0\text{ mm}$), e nestes, foram avaliados os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT). Posteriormente, realizou-se o fracionamento químico e granulométrico da matéria orgânica do solo (MOS), quantificando-se o C e o N das frações húmicas, humina (C-HUM e N-HUM), ácidos húmicos (C-FAH e N-FAH) e ácidos fúlvicos (C-FAF e N-FAF); e C e N das frações granulométricas, obtendo-se as frações orgânica particulada (COP e NOp) e associada aos minerais (COam e NOam). Também determinaram-se os atributos químicos: pH em água, teores trocáveis de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} e $\text{H}+\text{Al}$ e teores disponíveis de K^{+} e P. O SPDH favoreceu o processo de humificação e proteção das frações da MOS nos agregados na profundidade de 0-5 cm em comparação ao SPC e também melhorou a fertilidade do solo, incrementando, principalmente, os teores de Ca e K nas três profundidades avaliadas, e de Mg nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. O SPDH melhora a qualidade edáfica dos agregados e, consequentemente, pode reduzir os danos causados pelo SPC, contribuindo para a redução de impactos ambientais e favorecendo a sustentabilidade do agroecossistema da cebola.

Palavras-chave: Manejo do solo. Agricultura de base ecológica. Substâncias húmicas. Carbono orgânico particulado. Plantas de cobertura.

ABSTRACT

The use and management of soil for agricultural purposes cause changes in the soil and environmental quality, and consequently the capacity and sustainability of agroecosystems. The objective of this study was to evaluate the influence of conventional tillage system (CTS) of soil and no-tillage system without pesticides for the cultivation of onion on the organic fractions and chemical attributes of soil aggregates. The treatments consisted of onion cultivation under no-tillage system for vegetables (NTSV) with the use of different species, alone and intercropped, for the soil cover: spontaneous vegetation (SV); 100% oats; 100% rye; 100% wild radish; intercropping of wild radish (14%) and rye (86%); and intercropping of wild radish (14%) and oats (86%). We also evaluated an onion-growing area under CTS for ± 37 years, and a forest area (secondary forest for ± 30 years), both adjacent to the experimental area. Undisturbed samples were collected five years after the implementation of NTSV at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm. Of these, the soil aggregates were obtained ($8.00 \text{ mm} > \varnothing \geq 2.0 \text{ mm}$), and these were evaluated the total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN). Later, there was the chemical and particle size fractionation of soil organic matter (SOM), quantifying the C and N of humic fractions, humin (C-HUM and N-HUM), humic acids (C-FAH and N-FAH) and fulvic acids (C-FAF and N-FAF); and C and N of size fractions, obtaining the particulate organic fractions (POC and PON) and associated minerals (OCam and NOam). Also determined by chemical attributes: pH, exchangeable contents of Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} and $\text{H} + \text{Al}$ and available concentration of K^{+} and P. The NTSV favored the humification process and protection of SOM fractions on aggregate in the depth of 0-5 cm compared to the CTS, and also improved soil fertility, increasing mainly Ca and K levels in three depths evaluated, and Mg in the depths of 0-5 and 5-10 cm. The NTSV improves edaphic quality of aggregates and, consequently, can reduce the damage caused by the CTS, contributing to the reduction of environmental impacts and promoting the sustainability of the onion agroecosystem.

Keywords: Soil management. Ecologically-based agriculture. Humic substances. Particulate organic carbon. Cover crops.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo, Ituporanga, Santa Catarina. Fonte: Assis (2013).	33
Figura 2 – Teores de carbono orgânico total (a), nitrogênio total (b) e relação C/N (c) em agregados do solo em sistemas de uso com cultivo de cebola e mata	40
Figura 3 – Valores médios carbono orgânico particulado (COp, a); e carbono orgânico associado aos minerais (COam, b) em agregados do solo em sistemas de uso do solo com cultivo de cebola e mata em Ituporanga, SC.....	52
Figura 4 – Soma de bases (a), saturação por bases (b), CTC a $\text{pH}_{7,0}$ (c) e CTC efetiva (d) em agregados do solo sob sistemas de uso com cultivo de cebola e mata.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção de matéria seca das plantas de cobertura de inverno e da mucuna no verão e produção de cebola referente à safra agrícola de 2012/2013.....	36
Tabela 2 – Valores médios de carbono orgânico das substâncias húmicas (g kg^{-1}) contido nos agregados de Cambissolo Húmico em sistemas de uso com cultivo de cebola e mata, Ituporanga, SC.....	44
Tabela 3 – Relação do C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM nos agregados de um Cambissolo Húmico sob diferentes tratamentos com cultivo de cebola, Ituporanga, SC	48
Tabela 4 – Valores médios de nitrogênio orgânico das substâncias húmicas (g kg^{-1}) contida nos agregados de um Cambissolo Húmico sob sistemas de uso do solo com cultivo de cebola e mata, Ituporanga, SC.	50
Tabela 5 – Teores de nitrogênio orgânico particulado (NOp) e associado aos minerais (NOam) em agregados do solo em sistemas de uso do solo com cultivo de cebola e mata, em Ituporanga, SC.	55
Tabela 6 – Valores de pH em água, teores de fósforo disponível, cálcio, magnésio, alumínio e potássio trocáveis, em um Cambissolo Húmico cultivado com cebola em sistemas de uso do solo e mata.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C – carbono
Ca – cálcio
C-EA – carbono extrato alcalino (C-FAH+C-FAF)
C-EA/C-HUM – relação carbono extrato alcalino carbono humina
C-FAF – carbono da fração ácido fúlvico
C-FAH – carbono da fração ácido húmico
C-FAH/C-FAF – relação carbono da fração ácido húmico carbono da fração ácido fúlvico
C-HUM – carbono da fração humina
Cmol_c – centimol carga
C/N – relação carbono nitrogênio
COam – carbono orgânico associado aos minerais
COp – carbono orgânico particulado
COT – carbono orgânico total
CQFS SC/RS – Comissão de Química e Fertilidade do Solo
Ds – densidade do solo
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FAF – fração ácido fúlvico
FAH – fração ácido húmico
H – hidrogênio
HUM – humina
H₂SO₄ – ácido sulfúrico
IHSS – Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas
K – potássio
K₂O – óxido de potássio
Mg – magnésio
MOS – matéria orgânica do solo
N – nitrogênio
NaOH – hidróxido de sódio
NEPEA – Núcleo de ensino, pesquisa e extensão em agroecologia
N-FAF – nitrogênio da fração ácido fúlvico
N-FAH – nitrogênio da fração ácido húmico
N-HUM – nitrogênio da fração humina
NOam – nitrogênio orgânico associado aos minerais
NOp – nitrogênio orgânico particulado
NT – nitrogênio total
P – fósforo

pH – potencial hidrogeniônico

P₂O₅ – pentóxido de fósforo

SC – Santa Catarina

SHs – substâncias húmicas

SMP – índice SMP

SPC – sistema de preparo convencional

SPDH – sistema de plantio direto de hortaliças

TFSA – terra fina seca ao ar

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO.....	21
2. INTRODUÇÃO GERAL.....	23
3. CAPÍTULO I: FRAÇÕES ORGÂNICAS EM AGREGADOS DO SOLO SOB SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL DE CEBOLA	27
3.1 Introdução.....	29
3.2 Material e métodos	32
3.2.1 Localização, histórico de uso e descrição do experimento.....	32
3.2.2 Coleta de amostras de solo e obtenção dos agregados	36
3.2.3 Análises realizadas.....	37
3.2.3.1 Teores de carbono e nitrogênio totais do solo.....	37
3.2.3.2 Fracionamento químico da MOS	37
3.2.3.3 Fracionamento granulométrico da MOS	38
3.2.4 Análises estatísticas	39
3.3 Resultados e Discussão.....	39
3.3.1 Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT).....	39
3.3.2 Frações húmicas da MOS	44
3.3.2.1 Teores de carbono das frações húmicas	44
3.3.2.2 Teores de nitrogênio das frações húmicas	49
3.3.3 Frações granulométricas da MOS.....	52
3.3.3.1 Carbono das frações granulométricas	52
3.3.3.2 Nitrogênio das frações granulométricas.....	54
3.4 Conclusões.....	58
4. CAPÍTULO II: ATRIBUTOS QUÍMICOS EM AGREGADOS DO SOLO SOB SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL DE CEBOLA	59
4.1 Introdução.....	60
4.2 Material e Métodos	63
4.2.1 Localização, histórico de uso e descrição do experimento.....	63
4.2.2 Coleta de amostras de solo e obtenção dos agregados	63
4.2.3 Atributos químicos avaliados.....	63
4.2.4 Análises estatísticas	63
4.3 Resultados e Discussão.....	63
4.4 Conclusões	71
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1 APRESENTAÇÃO

A dissertação decorreu da parceria entre a Universidade Federal de Santa Catarina e a Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI).

Foi desenvolvida a partir de um experimento de longa duração em sistemas de plantio direto de hortaliças (SPDH) e sistema de preparo convencional do solo (SPC), para o cultivo da cebola.

O experimento está localizado na EPAGRI de Ituporanga, SC, que desde 1984 realiza pesquisas com a cultura da cebola e atualmente desenvolve tecnologias que visam baixo impacto ambiental nos sistemas de produção de hortaliças.

A parceria entre a UFSC e EPAGRI tem possibilitado o desenvolvimento de dissertações e o avanço científico na temática da sustentabilidade agrícola.

O trabalho recebeu apoio financeiro dos projetos “Consolidação e formalização do núcleo de ensino, pesquisa e extensão em agroecologia – NEPEA-SC”, Chamada MCTI/MAPA/MDA/MEC/MPA/CNPq N° 81/2013 e “Rendimento, atributos químicos e físicos do solo e manejo de plantas espontâneas sistema plantio direto agroecológico de cebola”, Edital Chamada Universal – MCTI/CNPq N° 14/2014.

2 INTRODUÇÃO GERAL

A cebola (*Allium cepa* L.) é uma hortaliça que tem importância socioeconômica no panorama brasileiro, em razão da renda e de inúmeros postos de trabalho gerados em sua cadeia produtiva. Quarta hortaliça em volume de produção, a cebola é cultivada majoritariamente em sistema familiar (70%) e gera cerca de 200 mil postos de trabalho diretos (Teixeira, 2004; Costa, 2014). Estima-se que, anualmente, sejam cultivados 60 mil hectares com esta hortaliça no Brasil e, dentre as regiões produtoras, destacam-se o Sul (46,9% da produção), Sudeste (21,5%) e Nordeste (25,2%). Dentre os estados, Santa Catarina (SC) é o maior produtor desde o ano de 1990, respondendo por aproximadamente 1/3 do que é produzido no país, sendo que, além de rentável, o cultivo de cebola no estado catarinense tem se tornado mais sustentável em virtude dos avanços em estudos com a produção orgânica (Freitas, 2012; ACATE, 2014; IBGE, 2015).

Dentre os sistemas de manejo do solo para o cultivo da cebola, o de preparo convencional (SPC) ainda é o mais utilizado no estado. Este sistema tem como características principais, o uso de mecanização intensiva e o excessivo revolvimento do solo para a implantação da cultura, com aração, gradagens, subsolagem ou escarificação e inclusive, o uso de enxada rotativa em muitas das áreas (Epagri, 2013). Estas práticas, além de ocasionarem a fragmentação da cobertura vegetal e dos resíduos vegetais depositados sobre o solo, também propiciam a ruptura dos agregados do solo, e, conseqüentemente, favorecem os processos erosivos e causam alterações nos atributos edáficos, como a compactação do solo, redução do conteúdo de nutrientes e de matéria orgânica (Zinn et al., 2002; Loss et al., 2015). Neste sentido, a redução dos teores de matéria orgânica pode interferir drasticamente em processos fundamentais no solo, tais como a ciclagem e retenção de nutrientes, agregação do solo, dinâmica da água e atividade biológica (Albuquerque et al., 2002; Panachuki et al., 2011; Castro et al., 2011; Loss et al., 2015), o que dificulta o desempenho de suas funções e, por sua vez, provoca desequilíbrios no agroecossistema, tendo como consequência o desencadeamento do processo de degradação ambiental (Roscoe et al., 2006).

Na região do Vale do Itajaí, por exemplo, que é considerada um polo produtor da cultura de cebola no estado de SC, o uso do SPC do solo no cultivo da cebola tem contribuído efetivamente ao longo dos anos para a degradação ambiental, devido principalmente ao uso intensivo de arações e de gradagens para o preparo do solo, que além de

ocasionar perdas superficiais de até 20 cm da camada mais fértil do solo (Gonçalves et al., 2008; Madeira, 2009), também favorece a maior oxidação e mineralização da matéria orgânica do solo (MOS).

Sabe-se que a introdução de sistemas agrícolas em áreas de vegetação nativa ocasiona o desequilíbrio na dinâmica da MOS e, consequentemente, o rápido decréscimo do conteúdo de carbono orgânico total (COT) (Scholes & Breemen, 1997). As alterações dos atributos do solo, por sua vez, têm variação em razão das características do sistema de manejo adotado (Loss et al., 2007; Coutinho et al., 2010; Machado et al., 2014). Assim, em decorrência dos impactos que sistemas convencionais de cultivo, tais como o SPC, ocasionam no solo e nas diversas condições ambientais, sistemas conservacionistas, tais como os de base ecológica, têm sido propostos com o intuito de sustentar a produção de alimentos, fibras e energia com o mínimo de modificações no ambiente (Roscoe et al., 2006; Loss et al., 2011b).

Para superar os problemas supracitados, tem-se o sistema plantio direto (SPD) e, no caso da cebola, o sistema plantio direto de hortaliças (SPDH), no qual a mobilização do solo é restrita à linha de plantio e plantas de cobertura são utilizadas para a produção de biomassa, que é mantida na superfície, formando um tapete de fitomassa sob a qual, posteriormente, as mudas de cebola são transplantadas. A utilização de plantas de cobertura no SPD e, ou, SPDH incrementa a quantidade de fitomassa depositada na superfície do solo, reduzindo a erosão e aumentando a infiltração e retenção de água no solo (Hoorman, 2009; Panachuki et al., 2011; Doneda et al., 2012; Guedes Filho et al., 2013). Esta fitomassa, na medida em que vai se decompondo, promove o aumento da atividade microbiana, o acúmulo de nutrientes e de matéria orgânica nas camadas superficiais do solo e favorece ao aumento da estabilidade dos agregados (Loss et al., 2011a; Casali, 2012; Lima Filho et al., 2014). Dessa forma, tem-se também, melhoria em outras propriedades físicas do solo, tais como diminuição dos valores de densidade e aumento da porosidade, aeração e capacidade de retenção e infiltração de água (Hoorman, 2009; Pagliarini et al., 2012; Guedes Filho et al., 2013).

As espécies de plantas de cobertura também interferem na agregação do solo, destacando-se as gramíneas, que por apresentarem sistema radicular extenso e renovado constantemente, são mais eficientes em aumentar e manter a estabilidade de agregados em comparação às leguminosas, que por sua vez incrementam o conteúdo de nitrogênio (Hermawan e Bomke, 1997; Nascimento et al., 2005; Coutinho et al., 2010). Em SPD com o uso de plantas de cobertura,

Calegari et al. (2006) e Loss et al. (2014), observaram uma melhora na agregação do solo ao longo dos anos de cultivo, em comparação ao SPC. Além da influência do sistema de manejo utilizado, a estabilidade dos agregados tem variação dependente do tipo de cultura implantada (Bronick e Lal, 2005; Liu et al., 2005; Loss et al., 2011a).

O SPD clássico, com o uso de herbicidas para formação do tapete de fitomassa, foi introduzido nos anos 70 no Sul do Brasil, devido aos sérios problemas de degradação das terras ocasionados pela erosão, e consistia em instalar lavouras de milho, trigo e soja sem a necessidade das diferentes operações de preparo do solo (Machado, 2005). O SPDH diferencia-se do SPD clássico no âmbito tecnológico e social, buscando construir um caminho para o desenvolvimento sustentável, tendo o equilíbrio sócio-ecológico como eixo condutor da transição, preconizando a redução de dependência de insumos externos, o uso racional dos recursos naturais, a redução do uso de agrotóxicos e adubos altamente solúveis até a total eliminação, a conservação e melhoria da qualidade da água e a valorização da qualidade de vida dos agricultores e consumidores (Epagri, 2004; 2013).

As primeiras experiências com o SPD no Brasil foram desenvolvidas na década de 70, no Paraná-PR, sendo difundido posteriormente para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Já o SPDH, foi desenvolvido na Estação Experimental da EPAGRI de Caçador-SC, pelo pesquisador Jamil Abdalla Fayad. Os trabalhos com SPDH tiveram início no ano de 1998 e, após quatro anos de pesquisa, período para construção dos fundamentos e bases tecnológicas do sistema, iniciou-se as lavouras de estudos, em primeira instância, com a cultura do tomate. A partir de 2003, iniciou-se os estudos com SPDH em Ituporanga-SC com a cultura da cebola (Epagri, 2004; 2013).

Na literatura brasileira ainda existe uma lacuna a ser preenchida quando se trata de pesquisas relacionadas ao SPDH e seus efeitos sobre os atributos edáficos em agregados do solo. O objetivo geral do trabalho foi avaliar a influência do SPDH e SPC do solo, no cultivo de cebola, sobre as frações orgânicas e atributos químicos em agregados do solo, e compará-los a uma área de floresta secundária, em Ituporanga, SC. O trabalho foi dividido em dois Capítulos, sendo no Capítulo I avaliado as “Frações orgânicas em agregados do solo sob sistemas de plantio direto e convencional de cebola” e no Capítulo II os “Atributos químicos em agregados do solo sob sistemas de plantio direto e convencional de cebola”.

3 CAPÍTULO I: FRAÇÕES ORGÂNICAS EM AGREGADOS DO SOLO SOB SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL DE CEBOLA

RESUMO

Os teores de carbono e nitrogênio das frações húmicas e granulométricas da matéria orgânica do solo (MOS) podem ser alterados pelos sistemas de uso e manejo adotados no solo para a agricultura e, também, pelo cultivo de espécies de plantas de cobertura. Assim, constituem-se em indicadores sensíveis às mudanças de qualidade do solo e do agroecossistema. O objetivo deste trabalho foi avaliar as frações húmicas e granulométricas da matéria orgânica em agregados de um Cambissolo Húmico cultivado com cebola sob sistemas de plantio direto de hortaliças (SPDH) e de preparo convencional (SPC) do solo, comparado a uma área de floresta secundária, em Ituporanga, SC. Os tratamentos constituíram-se do cultivo de cebola sob o SPDH com a utilização de diferentes espécies, solteiras e consorciadas, para a cobertura do solo: vegetação espontânea; 100% aveia; 100% centeio; 100% nabo forrageiro; consórcio de nabo forrageiro (14%) e centeio (86%); consórcio de nabo forrageiro (14%) e aveia (86%). Adicionalmente, foram avaliadas uma área sob SPC do solo com cultivo de cebola por 37 anos e uma área de mata (floresta secundária; 30 anos), ambas adjacentes ao experimento. Amostras indeformadas de solo foram coletadas cinco anos após a implantação do SPDH nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Destas, foram obtidos os agregados do solo ($8,00 \text{ mm} > \varnothing \geq 2,0 \text{ mm}$) e, nestes, foram avaliados os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT). Posteriormente, realizou-se o fracionamento químico e granulométrico da MOS, quantificando-se o C e o N das frações húmicas, humina (C-HUM e N-HUM), ácidos húmicos (C-FAH e N-FAH) e ácidos fúlvicos (C-FAF e N-FAF); e C e N das frações granulométricas, obtendo-se as frações orgânica particulada (COP e NOP) e associada aos minerais (COam e NOam). O SPDH, em comparação ao SPC, favoreceu o processo de humificação até os 10 cm de solo avaliado, apresentando maiores teores de C-HUM, N-HUM e menores índices de C-FAH+C-FAF/C-HUM. Também favoreceu a proteção da matéria orgânica na profundidade de 0-5 cm, devido aos maiores teores de COT, NT e COP. Dentre as espécies de plantas de cobertura avaliadas, o centeio solteiro e em consórcio com o nabo forrageiro se destacaram quanto a humificação da MOS, com predomínio de C-HUM e C-FAH. Este

padrão também foi observado no tratamento testemunha para o C-HUM, que devido à riqueza de famílias e espécies, consiste em um indicativo da biodiversificação vegetal como forma de melhorar a qualidade do solo. O uso do consórcio entre aveia+nabo e a vegetação espontânea contribuíram para o aumento dos teores de NOP em relação aos demais tratamentos sob SPDH, e o nabo solteiro e em consórcio aumentou o NOam, este que foi mais eficiente que o COam para evidenciar diferenças entre os sistemas avaliados. A conversão de áreas sob SPC para SPDH favorece o aumento dos teores de COT e NT, assim como de suas frações húmicas (HUM e FAH) e granulométricas (COp e NOP) na camada superficial do solo. Nota-se que o SPDH melhora a qualidade edáfica dos agregados, podendo reduzir os danos causados pelo SPC e contribuir para a redução de impactos ambientais do agroecossistema da cebola.

Palavras-chave: Humina. Ácidos húmicos. Ácidos fúlvicos. Carbono e nitrogênio particulado. Manejo das plantas de cobertura.

ORGANIC FRACTIONS IN SOIL AGGREGATES UNDER SYSTEMS NO TILLAGE AND CONVENTIONAL THE ONION

SUMMARY

The carbon and nitrogen content of humic and size fractions of soil organic matter (SOM) can be changed by use and management systems adopted in the soil for agriculture and also the cultivation of species of cover crops. So, they are in sensitive indicators of soil quality change and agro-ecosystem. The objective of this study was to evaluate the humic and size fractions of organic matter into aggregates of a Humic Cambisol cultivated with onion under no-tillage system for vegetables (NTSV) and conventional tillage system (CTS) of the soil, compared to an area of secondary forest in Ituporanga, SC. The treatments consisted of onion cultivation under NTSV with the use of different species, mixed and single for the soil cover: spontaneous vegetation; 100% oats; 100% rye; 100% turnip; turnip consortium (14%) and rye (86%); turnip consortium (14%) and oats (86%). Additionally, they evaluated an area under soil CTS with onion cultivation for 37 years and a forest area (secondary forest, 30 years), both adjacent to the experiment. Undisturbed samples were collected five years after the implementation of NTSV at depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm. Of these, the soil

aggregates were obtained ($8.00 \text{ mm} > \emptyset \geq 2.0 \text{ mm}$), and these were evaluated the total organic carbon (TOC) and total nitrogen (TN). Later, there was the chemical and particle size fractionation of SOM, quantifying the C and N of humic fractions, humin (C-HUM and N-HUM), humic acids (C-FAH and N-FAH) and fulvic acids (C-FAF and N-FAF); and C and N of size fractions, obtaining the particulate organic fractions (POC and PON) and associated minerals (OCam and ONam). The NTSV compared to the CTS, favored the humification process up to 10 cm of soil evaluated, with higher levels of C-HUM, N-HUM and lower levels of C-FAH + C-FAF / C-HUM. Also favored the protection of organic matter in the depth of 0-5 cm due to higher levels of TOC, TN and POC. Among the species of cover crops, rye single and intercropping with turnip stood out as the humification of SOM with a predominance of C-HUM and C-FAH. This pattern was also observed in the control treatment for the C-HUM, which due to the wealth of families and species, consists of an indication of plant biodiversification in order to improve the quality of the soil. The use of the consortium oat + radish and spontaneous vegetation contributed to the increase of PON levels in relation to other treatments under NTSV, and the single turnip and intercropping increased Noam, this one was more efficient than the OCam to highlight differences among the evaluated systems. The conversion of areas under CTS for NTSV favors the increase of TOC and NT, as well as their humic fractions (HUM and FAH) and grain size (POC and PON) in the topsoil. Note that the NTSV improves edaphic quality of aggregates, can reduce the damage caused by the CTS and contribute to the reduction of environmental impacts of onion agroecosystem.

Key words: Humin. Humic acid. Fulvic acid. Particulate carbon and nitrogen. Management of cover crops.

3.1 INTRODUÇÃO

A cebola (*Allium cepa*) é uma hortaliça que tem grande importância para a agricultura brasileira, sendo a região Sul do país responsável por 46,9% da produção nacional. No estado de Santa Catarina (SC), maior produtor nacional desde 1990, o cultivo da cebola é realizado predominantemente sob sistema de cultivo convencional e acarreta em forte impacto ambiental, principalmente por favorecer os

processos erosivos e de degradação do solo (Zinn et al., 2002; Freitas, 2012; ACATE, 2014; IBGE, 2015; Loss et al., 2015).

Como alternativa ao sistema convencional (sistema de preparo convencional do solo - SPC) tem-se o sistema de plantio direto de hortaliças (SPDH). O aporte contínuo de resíduos vegetais na superfície e o revolvimento restrito à linha de plantio no SPDH contribuem com a melhoria da qualidade edáfica. A utilização deste sistema tende a manter e, ou, aumentar os teores de MOS, especialmente, em solos degradados (Roscoe et al., 2006; Briedis et al., 2012; Loss et al., 2011a; 2015).

O teor de MOS, expresso pelo conteúdo de carbono orgânico total (COT), suas frações químicas, expressas pelo carbono das substâncias húmicas (SHs), que é subdividido em carbono das frações ácido fúlvico (C-FAF), ácido húmico (C-FAH) e humina (C-HUM), e suas frações granulométricas, expressas pelo carbono orgânico particulado (COp) e associado aos minerais (COam), são considerados indicadores úteis na avaliação da qualidade edáfica e detecção de impactos ambientais (Vergutz et al., 2010; Benittes et al., 2010; Briedis et al., 2012; Loss et al., 2010; 2012; 2013).

Quanto às SHs, estas têm capacidade de interagir com a fração argila e exercem papel importante na fertilidade e estrutura do solo, bem como na imobilização de metais pesados e pesticidas (Stevenson, 1994; Bayer & Mielniczuk, 1999; Fontana et al., 2006; Dick et al., 2009). Segundo Fontana et al. (2010), que avaliaram a agregação do solo e sua relação com as SHs em Latossolos e Argissolos em Campos dos Goytacazes, RJ, o C-HUM revelou-se o melhor componente da agregação no Argissolo e o C-FAH no Latossolo, ambos sob a cobertura vegetal de floresta. Já no trabalho de Passos et al. (2007), os autores verificaram em agregados de um Latossolo Vermelho sob SPC de milho por 30 anos, maiores teores de C-FAH em relação à vegetação natural de Cerradão e predomínio do C-HUM, independente dos sistemas e profundidades avaliados.

As variações na distribuição das SHs podem indicar alterações dos atributos edáficos e impactos do sistema de manejo na qualidade do solo (Fontana et al., 2006; Passos et al., 2007; Loss et al., 2013; Beutler et al., 2015), assim como as relações calculadas entre as frações das SHs são sugeridas como indicadoras de condições ambientais ou alterações antrópicas (Leite et al., 2003; Fontana et al., 2006; Cunha et al., 2007; Loss et al., 2010). Segundo Benittes et al. (2010), as SHs refletem as mudanças ocorridas por alterações antrópicas e ao mesmo tempo são estáveis diante das variações espaciais e temporais de curto prazo, em comparação com alguns indicadores biológicos e bioquímicos

normalmente avaliados, sugerindo que a caracterização das SHs apresenta grande potencial na avaliação de alterações na qualidade do solo.

Avaliando os teores de carbono das SHs em amostras de horizontes superficiais de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob coberturas vegetais de Mata Atlântica, cultivo anual, café, banana e pastagem, Benittes et al. (2010), por meio de análise discriminante, conseguiram isolar as áreas sob mata e pastagem das áreas com culturas (banana, café e cultivo). Os autores concluíram que esse resultado foi possível devido ao fracionamento da MOS em C-FAF, C-FAH e C-HUM ter permitido a observação de alterações no solo que não seriam identificadas pela simples determinação do teor de COT.

Por meio da quantificação do carbono das SHs em áreas cultivadas com rotação de culturas em sistema conservacionista em Seropédica, RJ, sob SPD e SPC do solo, Loss et al. (2010) encontraram correlações significativas entre os parâmetros de fertilidade, soma de bases (Valor S) e capacidade de troca catiônica (CTC), com os teores de C-FAF, C-FAH e C-HUM na área cultivada em SPD e ausência de correlação na área sob SPC. Com os resultados obtidos, sugere-se que o SPC desfavorece a formação e, ou, manutenção dos teores de carbono das SHs e o SPD apresenta padrão contrário, sendo a fertilidade do solo influenciada positivamente pelos teores de carbono das SHs.

Quanto às frações granulométricas da MOS, o COP ($> 53\mu\text{m}$) é derivado de resíduos de plantas e hifas, que permanecem no solo devido à proteção física nos agregados, sendo por este motivo, uma fração lábil que apresenta maior taxa de reciclagem dos constituintes orgânicos. Segundo Bayer et al. (2002), Rossi et al. (2012) e Loss et al. (2012), em sistemas onde ocorre o maior aporte de biomassa, ocorre maior acúmulo de carbono nesta fração, sendo assim um indicador mais sensível do que o COT às alterações impostas pelo manejo do solo. Já o COam ($< 53\mu\text{m}$) está associado às frações silte ($2-53\mu\text{m}$) e argila ($0-2\mu\text{m}$) e interage com a superfície dos minerais, formando complexos organominerais protegidos pela fração coloidal (Cambardella & Elliott, 1992; Loss et al., 2011b). Esta fração depende da quantidade de material orgânico oriundo da fração particulada (COP) e da proteção coloidal exercida pelas superfícies minerais (Baldock, 2000) e, de acordo com Bayer et al. (2004), possui um avançado grau de humificação, no qual, ao contrário do COP, é menos sensível às alterações relacionadas ao manejo do solo, principalmente em curto prazo. Esta fração possui grande importância no que se refere à estabilização dos microagregados,

por ser composta, em grande parte, por SHs, tais como a fração húmica (Cambardella & Elliott, 1992).

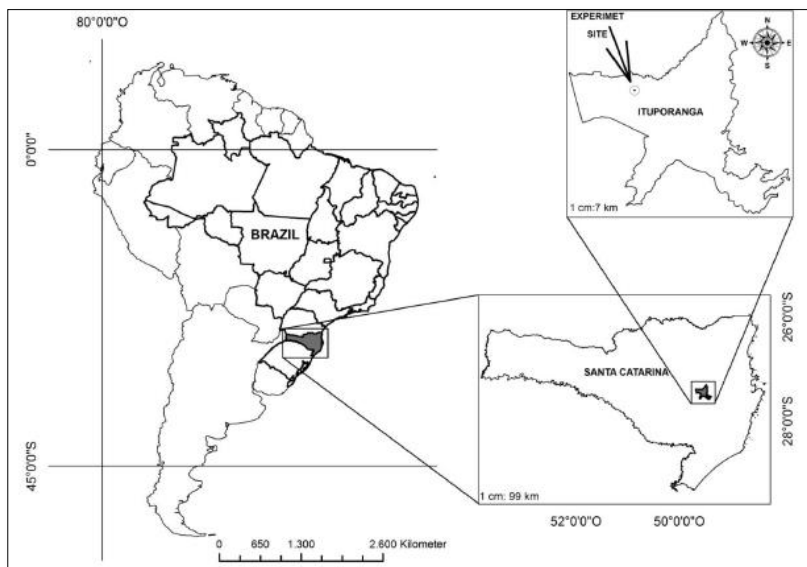
Considerado que o conteúdo e a qualidade da MOS são condicionados pelo sistema de uso e manejo do solo, o presente trabalho objetivou avaliar os teores de carbono e nitrogênio das frações húmicas e granulométricas da MOS em agregados de um Cambissolo Húmico cultivado com cebola em SPDH e SPC do solo, comparado a uma área de floresta secundária, em Ituporanga, SC.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização, histórico de uso e descrição do experimento

O estudo foi conduzido na Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI), no município de Ituporanga, SC, localizado a 27° 24' 52"S, 49° 36' 9" W, e altitude de 475 m (Figura 1). O clima da região é do tipo Cfa (Köppen), ou seja, subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes, sem estação seca definida, temperatura média anual de 17,6°C e precipitação pluvial anual média de 1.400 mm.

Figura 1: Localização da área de estudo, Ituporanga, Santa Catarina.
Fonte: Assis (2013).



O experimento foi instalado em um Cambissolo Húmico (Embrapa, 2013), apresentando na camada de 0-10 cm textura franco-argilosa, com 380, 200 e 420 g kg⁻¹, respectivamente, de argila, silte e areia, em uma área com histórico de cultivo de cebola em SPC (aração e enxada rotativa) por aproximadamente 20 anos até 1996. A partir desse ano, foi aplicado calcário na superfície do solo, com posterior incorporação, para elevar o pH em água até 6,0. Em seguida, foi implantado o sistema de cultivo mínimo de cebola com rotação de culturas e plantas de cobertura (aveia - *Avena strigosa*, mucuna - *Mucuna aterrima*, milheto - *Pennisetum glaucum*, crotalaria - *Crotalaria juncea*, ervilhaca - *Vicia sativa*), sistema que permaneceu de 1996 a 2007. Posteriormente, foi implantada a cultura da batata-doce (*Ipomoea batatas* (L.) Lam), explorada até 2009. A partir de então, instalou-se o experimento com o SPDH de cebola, sem utilização de agrotóxicos.

No momento da implantação do experimento (2009), o solo da profundidade 0-10 cm apresentava os seguintes atributos: 23,2 g kg⁻¹ de carbono orgânico total, pH em água 6,0, Índice SMP 6,2; P disponível 26,6 mg dm⁻³ e K trocável 145,2 mg dm⁻³ (ambos extraídos por Mehlich-1); Al trocável 0,0 cmol_c kg⁻¹, Ca trocável 7,2 cmol_c kg⁻¹ e Mg

trocável $3,4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (ambos extraídos por $\text{KCl } 1 \text{ mol L}^{-1}$) (Tedesco et al., 1995). No mesmo ano, no momento da instalação do experimento, a vegetação espontânea foi dessecada, usando-se o herbicida glifosato. A partir de então, não foram mais utilizadas aplicações de agrotóxicos.

Os tratamentos constituíram-se do plantio de plantas de cobertura solteiras e consorciadas, sendo: (1) testemunha com vegetação espontânea (VE), composta de 20 famílias botânicas, com predomínio das seguintes famílias (85%), conforme Vilanova (2010): *Amaranthaceae* (10%), *Asteraceae*, *Caryophyllaceae*, *Compositae* (10%), *Convolvulaceae*, *Cruciferae*, *Cyperaceae* (25%), *Euphorbiaceae*, *Fabaceae*, *Lamiaceae* (10%), *Leguminosae*, *Liliaceae*, *Malvaceae*, *Oxalidaceae* (10%), *Plantaginaceae*, *Poaceae*, *Polygonaceae* (20%); (2) 100% aveia (*Avena strigosa* Schreb.), com densidade de semeadura (DS) de 120 kg ha^{-1} ; (3) 100% centeio (*Secale cereale* L.), com DS de 120 kg ha^{-1} ; (4) 100% nabo-forrageiro (*Raphanus sativus* L.), com DS de 20 kg ha^{-1} ; (5) consórcio de nabo-forrageiro (14%) e centeio (86%), com DS de 10 e 60 kg ha^{-1} , respectivamente e (6) consórcio de nabo-forrageiro (14%) e aveia (86%), com DS de 10 e 60 kg ha^{-1} , respectivamente. Em abril de 2010, a aveia-preta foi substituída por cevada (*Hordeum vulgare* L.); a partir de abril de 2011, a cevada foi novamente substituída pela aveia-preta, em razão da dificuldade em adquirir as sementes dessa cultura. As espécies de inverno foram semeadas a lanço em abril de cada ano e, em seguida, uma máquina semeadora de cereais foi passada duas vezes na área com a finalidade de aumentar o contato das sementes com o solo. As quantidades de sementes por hectare foram definidas com base na recomendação de Monegat (1991), sendo acrescidos de 50% sobre a maior quantidade da recomendação. Os tratamentos foram blocos ao acaso, com cinco repetições. Cada unidade experimental tinha 25 m^2 ($5 \times 5 \text{ m}$). Em julho de 2009, 2010, 2011, 2012 e 2013, todas as espécies de inverno foram roladas utilizando-se um rolo-faca (modelo RF240, MBO Ltda) (Imagens 1a e 1b).

Imagem 1: Visão geral do experimento (a) e rolagem para posterior plantio da cebola (b).



Imagens 1a e 1b: Rodolfo de Assis

Adicionalmente, foram avaliados mais dois tratamentos, ambos adjacentes ao experimento, sendo a área original de cultivo de cebola mantida sob SPC por 20 anos até 1996. Somando-se os anos subsequentes, de 1996 a 2013, época de coleta das amostras de solo, foram totalizados 37 anos em SPC. O outro tratamento adicional, uma floresta secundária com ± 30 anos, representou a condição natural do solo. No SPC, a partir do ano de 2007, a cebola foi cultivada em sucessão com o milheto, no verão. O milheto foi acamado na floração com rolo-faca e, após 30-60 dias, realizada aração seguida de gradagem para implantar a cultura da cebola. A adubação foi realizada conforme a CQFS-SC/RS (2004).

Após o acamamento das plantas de cobertura de inverno e da vegetação espontânea, no mês de julho de cada ano, foram aplicados manualmente na superfície do solo 96 kg ha^{-1} de P_2O_5 , na forma de fosfato natural de Gafsa moído, 175 kg ha^{-1} de P_2O_5 , 125 kg ha^{-1} de K_2O e 160 kg ha^{-1} de N, na forma de dejetos de aves, sendo metade aplicada no plantio das mudas de cebola e o restante 30 dias após o plantio. A partir da safra de 2011, não foi aplicado fosfato natural, pois os teores foram interpretados como muito alto (CQFS-SC/RS, 2004). Em seguida, foram abertos os sulcos de semeadura com uma máquina adaptada para o plantio direto da cebola, sendo transplantadas manualmente as mudas da cv. 'Empasc 352' - Bola Precoce. O espaçamento usado foi de 0,40 m entrelinhas e 0,10 m entre plantas, com 10 linhas de cebola por parcela. Foram realizadas capinas aos 60 e 90 dias após o plantio das mudas de cebola. Após a segunda capina, em outubro de cada ano, com exceção do primeiro ano, foi realizado o plantio da mucuna-preta (*Mucuna aterrima* Piper e Tracy) no verão em toda a área cultivada, na DS de 120

kg ha⁻¹. A mucuna é rolada (acamada) no mês de abril e na sequência realizada a semeadura das plantas de cobertura.

Os valores médios de produção de matéria seca e da cebola nas áreas avaliadas referentes a 2013, ano da coleta das amostras de solo, são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Produção de matéria seca das plantas de cobertura de inverno e da mucuna no verão e produção de cebola referente à safra agrícola de 2012/2013.

Tratamentos	Matéria seca		Produção de cebola ⁽¹⁾
	Inverno	Verão	
	—— kg ha ⁻¹ ——		Mg ha ⁻¹
Vegetação espontânea (testemunha)	4.480	2.275	16,74
Aveia	5.220	1.951	19,94
Centeio	5.635	2.286	18,93
Nabo-forrageiro	4.934	2.155	18,68
Aveia + nabo	5.203	2.306	18,58
Centeio + nabo	4.656	2.283	18,08
SPC	-	12.000	26,10

⁽¹⁾ O rendimento da cebola é muito superior no SPC, principalmente em razão do controle químico do míldio, doença fúngica que pode promover perdas superiores a 70% no rendimento de cebola. No sistema agroecológico (SPDH) ainda não se dispõe de tecnologias para reduzir o efeito dessa doença.

3.2.2 Coleta de amostras de solo e obtenção dos agregados

Em setembro de 2013, cinco anos após implantação do experimento foi realizada uma coleta de amostras indeformadas de solo nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm por meio da abertura de mini-trincheiras de 40 x 40 x 40 cm em cada parcela, utilizando-se uma pá de corte. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e encaminhadas ao Laboratório de Manejo e Classificação de Solos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), onde foram secas ao ar e, em seguida, destorroadas manualmente, seguindo fendas ou pontos de fraqueza, e passadas em um conjunto de peneiras de malha 8,00 mm e 4,00 mm para obtenção dos agregados do solo, conforme Embrapa (1997). Os valores relacionados à estabilidade dos agregados e índices de agregação (diâmetro médio ponderado e geométrico dos agregados) encontram-se descritos em Loss et al. (2015).

3.2.3 Análises realizadas

Para a realização das análises químicas, os agregados retidos na peneira de 4,00 mm foram destorroados manualmente e passados em uma peneira de 2,00 mm obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA) dos agregados. Neste material foram determinados o carbono orgânico total (COT) e o nitrogênio total (NT), o carbono e o nitrogênio das frações húmicas - fração humina (C-HUM / N-HUM), fração ácido húmico (C-FAH / N-FAH) e fração ácido fúlvico (C-FAF / N-FAF) – e o carbono e nitrogênio das frações granulométricas – fração orgânica particulada (COP / NOP) e fração orgânica associada aos minerais (COam / NOam).

3.2.3.1 Teores de carbono e nitrogênio totais do solo

A determinação do COT foi realizada pelo método de oxidação via úmida, com aquecimento externo, segundo Yeomans & Bremner (1988). O teor de NT foi determinado conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1995). Após a obtenção dos teores de COT e de NT, calculou-se a relação carbono/nitrogênio (C/N) dos agregados.

3.2.3.2 Fracionamento químico da MOS

Para a extração e quantificação dos teores de C e N das frações húmicas foi utilizada a técnica de solubilidade diferencial em meio alcalino e ácido, conforme metodologia preconizada pela Sociedade Internacional de Substâncias Húmicas - IHSS (Swift et al., 1996), com adaptação de Benites et al. (2003). Neste caso, adicionou-se 1,0 g de TFSA em tubos falcon de 50 mL juntamente com 20 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ e fez-se rápida agitação manual. Após 24 horas de repouso, o material foi centrifugado a 5000g (*Força g*) por 20 minutos sob refrigeração (10°C). Em seguida, o sobrenadante (FAF+FAH) foi transferido para outro tubo falcon de 50 mL e, no tubo com o material precipitado, novamente foi adicionado mais 20 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹, que após homogeneização, permaneceu por uma hora em repouso. Após esse tempo, o material foi novamente centrifugado a 5000g por 20 minutos a 10°C. Ao final, o sobrenadante novamente foi depositado juntamente com o obtido na primeira extração. O precipitado obtido após a segunda centrifugação, que inclui a fração humina, permaneceu no fundo do tubo e foi seco em estufa com circulação de ar forçada, à temperatura de 50°C por 24 horas. O conteúdo do sobrenadante (\pm 40 mL) teve seu pH ajustado para $1,0 \pm 0,1$ com H₂SO₄ 20%, com o propósito de precipitar a FAH. A suspensão ficou em repouso por 18 horas, separando-se, então, a FAH da fração solúvel em qualquer valor de pH (FAF) por centrifugação (2500g por 5 minutos). A fração solúvel

foi transferida para outro tubo falcon de 50 mL, completando-se o volume para 50 mL com água destilada. No precipitado (FAH) foi feita a dissolução manual com 5 mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹, e completado o volume para 50 mL com água destilada. Para a determinação do carbono contido nas SHs (humina, ácido húmico e ácido fúlvico) utilizou-se o método da dicromatometria, com aquecimento externo, conforme Yeomans e Bremner (1988).

Para a determinação do N das SHs foi utilizado o método Kjeldahl (Tedesco et al., 1995), com pequenas adaptações (descritas abaixo) quanto à temperatura do bloco digestor e volume das amostras das frações húmicas solúveis (FAH e FAF). A determinação do N na fração humina, por essa ser insolúvel, seguiu-se a metodologia padrão do NT do solo, conforme Tedesco et al. (1995). Para a determinação do N-FAF e N-FAH foram utilizados 10 mL destas substâncias, que foram obtidas no fracionamento químico (Benites et al., 2003). Posteriormente, foi realizada a digestão da amostra com ácido sulfúrico e peróxido de hidrogênio, seguida da destilação (Kjeldahl) com hidróxido de sódio e titulação do coletado com indicador de ácido bórico e ácido sulfúrico. Quanto à temperatura do bloco, para a FAF o ponto de “viragem” da cor ocorre em torno dos 150°C, enquanto o ponto de “viragem” da FAH ocorre aos 300°C.

Com os resultados do C-HUM, C-FAH e C-FAF foram calculadas as relações entre as SHs (Benites et al., 2003): relação entre o carbono da fração ácido húmico e carbono da fração ácido fúlvico (C-FAH/C-FAF) e a relação entre o carbono do extrato alcalino – C-EA (C-FAH + C-FAF) com o carbono da fração humina (C-EA/C-HUM).

3.2.3.3 Fracionamento granulométrico da MOS

Para o fracionamento granulométrico da MOS seguiu-se a metodologia descrita por Cambardella & Elliott (1992), na qual foram utilizados 20 g de TFSA e 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L⁻¹), sendo as amostras agitadas durante 15 horas em agitador horizontal. A seguir, a suspensão foi passada em peneira de 53 µm com auxílio de jato de água. O material retido na peneira, que consiste no carbono e o nitrogênio orgânico particulado (COP / NOp), foi seco em estufa a 60°C, quantificado em relação à sua massa, moído em gral de porcelana e analisado em relação ao teor COT / NT segundo Yeomans e Bremner (1988) e Tedesco et al. (1995), respectivamente. O material que passou pela peneira de 53 µm, que consistiu no carbono e nitrogênio orgânico associado aos minerais (COam / NOam) foi obtido por diferença entre o COT / NT e COP / NOp.

3.2.4 Análises estatísticas

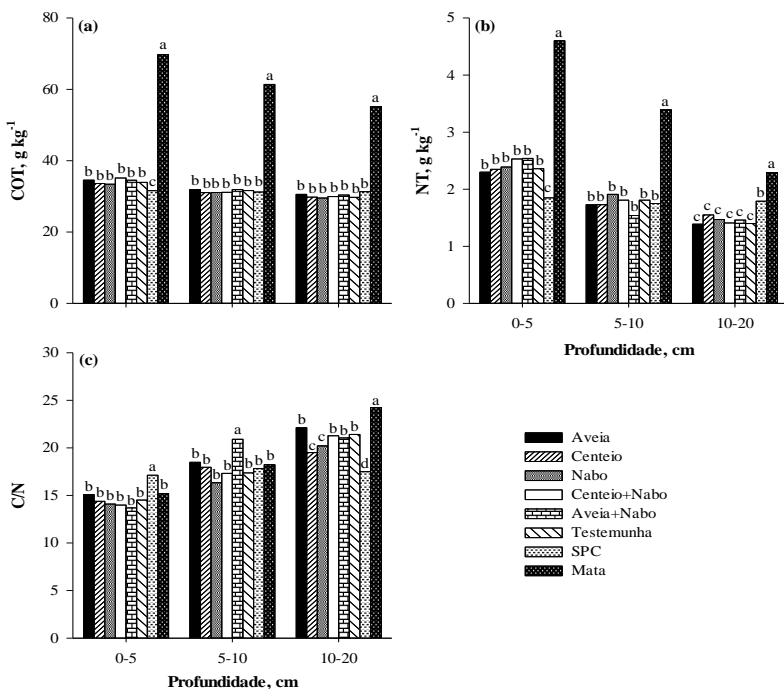
Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e Cochran, respectivamente, e posteriormente, analisados seguindo o delineamento em blocos casualizados, com oito tratamentos (aveia, centeio, nabo, nabo + centeio, nabo + aveia, vegetação espontânea, SPC e mata) e cinco repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e os valores médios, quando significativos, comparados pelo teste de Skott-knott a 5% de probabilidade.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Teores de carbono orgânico total e nitrogênio total

Os maiores teores de COT e NT dos agregados do solo foram observados na área de mata, nas três profundidades avaliadas. O SPDH em relação ao SPC apresentou os maiores teores de COT e NT na profundidade de 0-5 cm e os menores teores de NT na de 10-20 cm. Para a relação C/N, na profundidade de 0-5 cm verificou-se o maior valor no SPC, a 5-10 cm o tratamento aveia + nabo apresentou o maior valor e os demais tratamentos não apresentaram diferenças entre si. Já na profundidade de 10-20 cm observou-se o maior valor da relação C/N para a mata, seguido dos tratamentos aveia, aveia + nabo, centeio + nabo e testemunha. Os tratamentos centeio e nabo diferiram do SPC, que apresentou o menor valor da relação (Figura 2).

Figura 2. Teores de carbono orgânico total (a), nitrogênio total (b) e relação C/N (c) em agregados do solo em sistemas de uso com cultivo de cebola e mata.



Letras diferentes para o mesmo atributo avaliado, em cada profundidade, indicam diferenças estatísticas pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Os teores de COT e NT são resultados das taxas de produção, alteração e decomposição de resíduos orgânicos que, por sua vez, são dependentes de uma série de fatores, tais como temperatura, umidade, aeração, pH e disponibilidade de água e de nutrientes. Tais fatores são condicionados naturalmente pelos processos pedogenéticos, mas, também, podem ser influenciados pela ação antrópica, como o uso e manejo do solo (Nascimento et al., 2010). Por isso, o maior teor de COT e NT na área de mata é resultado da deposição de material orgânico proveniente, principalmente da serapilheira, o que promove o acúmulo de carbono na superfície do solo à medida que os resíduos vão sendo humificados (Mafra et al., 2008).

Como as taxas de decomposição desses materiais são aproximadamente iguais às de incorporação, as adições e perdas de COT

e NT no solo mantêm-se constantes. Como consequência, o COT e o NT permanecem em equilíbrio dinâmico e com teores praticamente inalteráveis ao longo do tempo (Stevenson, 1994). Resultados semelhantes a estes também são relatados na literatura em diferentes biomas, tais como Cerrado, Mata Atlântica, Amazônia e Caatinga (Benites et al., 2010; Loss et al., 2010; 2013; Santos et al., 2013).

Com a introdução de sistemas agrícolas em áreas de vegetação nativa há o desequilíbrio na dinâmica da MOS e, consequentemente, o rápido decréscimo do conteúdo de COT e NT (Scholes & Breemen, 1997). As alterações dos atributos edáficos, por sua vez, têm variação em razão das características do sistema de manejo adotado (Loss et al., 2007; Coutinho et al., 2010; Machado et al., 2014). Na região do Vale do Itajaí (SC), que é considerada um polo produtor da cultura de cebola no estado de SC, o uso do SPC do solo no cultivo da cebola tem contribuído efetivamente com a degradação ambiental, devido, principalmente, ao uso intensivo de arações e gradagens para o preparo do solo, que além de ocasionar perdas superficiais de até 20 cm da camada mais fértil do solo (Gonçalves et al., 2008; Madeira, 2009), também favorece a maior mineralização da MOS, devido à maior oxidação que ocorre neste sistema. Estes resultados foram evidenciados na profundidade de 0-5 cm para o COT e NT (Figura 2a e 2b) e 0-5 e 5-10 cm para o C-HUM (Tabela 2), que apresentaram menores valores no SPC em comparação ao SPDH.

Apesar das práticas conservacionistas e da quantidade de massa seca aportada em solos sob o SPDH (Tabela 1), o teor de COT dos agregados deste sistema ainda não atingiu o nível da área de mata, porém, na profundidade superficial (0-5 cm) apresentou um aumento significativo quando comparado aos níveis de COT do SPC (Figura 2a), e considerando que no SPC há maior aporte anual de matéria seca (Tabela 1), fica evidenciado o impacto negativo do revolvimento e pulverização do solo neste sistema sobre o acúmulo e manutenção do carbono no solo.

Ainda assim, o fato dos teores de COT no SPDH continuarem distantes dos teores encontrados na área de mata pode estar relacionado ao período de tempo de adoção do SPDH, que neste estudo foi de cinco anos. Para Pereira Neto et al. (2007), que realizaram um estudo sobre o tempo de consolidação do SPD em cultivos de milho com idades entre 2 e 14 anos, o SPD consolida-se entre o 9º e o 10º ano após sua implantação. Esses autores realizaram a medição da área das estruturas presentes no perfil cultural do solo por meio de sistema de informações geográficas (SIG) e as avaliaram pelo método estatístico de

componentes principais, e verificaram que as estruturas onde o SPD foi implantado há menos de 8 anos assemelharam-se às daquelas do SPC. Quando o SPD foi implantado há mais de 9 anos as estruturas assemelharam-se às do perfil de mata.

No SPDH e no SPC, os teores de COT e NT dependem, dentre outros fatores, da quantidade de massa seca (aérea e radicular) produzida pelas plantas de cobertura e do manejo adotado. Logo, os sistemas que promovem a produção e manutenção da massa seca na superfície do solo proporcionarão os maiores teores e acúmulo de COT e NT no solo. Este padrão foi observado no SPDH em comparação ao SPC (Figuras 1a e 1b) para a profundidade de 0-5 cm. Nesta, os menores valores de COT e NT no SPC são devidos ao aumento da mineralização do COT e NT causada pelo revolvimento do solo, que ocasiona a fragmentação dos resíduos vegetais e, conseqüentemente, favorece o ataque pelos microrganismos. Estes resultados corroboram com os estudos de Bayer & Mielniczuk (1999), Lovato et al. (2004) e Loss et al. (2009), que relataram que em solos com intenso revolvimento, ocorre perdas de COT e NT, principalmente pelo aumento da atividade microbiana e maior exposição dos resíduos vegetais aos microrganismos e suas enzimas. No SPC, mesmo com o maior aporte de massa seca (Tabela 1), as práticas de revolvimento do solo (aração e enxada rotativa) resultam em ruptura dos agregados, com posterior exposição do COT e NT que estavam protegidos fisicamente no interior destes e, conseqüentemente, acarreta em menores teores de COT e NT na camada superficial do solo.

Alguns estudos relatam que sistemas de manejo nos quais são utilizadas práticas conservacionistas com revolvimento restrito do solo, tais como o SPDH, há tendência de incremento dos teores de MOS, permitindo reverter as perdas de carbono e nitrogênio decorrentes, principalmente, da utilização do SPC (Mrabet, 2006; Pedra et al., 2012; Loss et al., 2014; Rosa et al., 2011; Costa Junior et al., 2012; Loss et al., 2015). Desta forma, observa-se que após cinco anos da implantação do SPDH houve incremento na profundidade 0-5 cm de até 11,3 e 36,8; 9,4 e 24,3; 9,3 e 37,3; 7,4 e 27,0; 6,4 e 27,0; 5,9 e 23,8% do COT e NT dos agregados, respectivamente, para os tratamentos com centeio+nabo, aveia, aveia+nabo, testemunha, centeio e nabo, em relação ao SPC. Estes resultados evidenciam o potencial do SPDH, em comparação ao SPC, em aumentar os teores de COT e NT e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Os maiores teores de COT e NT no SPDH têm relação direta com os maiores índices de agregação do solo (diâmetro

médio ponderado e macro e mesoagregados) observados em todos os tratamentos neste sistema na profundidade de 0-5 cm (Loss et al., 2015).

A ausência de diferenças nas profundidades de 5-10 e 10-20 cm entre os tratamentos em SPDH e o SPC indica a similaridade das plantas de cobertura utilizadas no SPDH em adicionar COT e NT. Porém, no SPC, a igualdade de valores de COT e de maiores valores de NT (10-20 cm) pode estar relacionada à incorporação dos resíduos vegetais do milho em maiores profundidades, homogeneizando os teores de COT (5-10 e 10-20 cm) e favorecendo aos maiores teores de NT em 10-20 cm. Existe uma estreita relação entre os teores de C e N do solo, o que explica a mesma tendência do COT e do NT na área de mata, corroborando com estudos realizados por Souza et al. (2013), que afirmam que a presença de MOS é fator determinante para o acúmulo de N no solo. O mesmo padrão de acúmulo de COT e NT também foi descrito por Assis et al. (2006) em agregados de um Latossolo Vermelho manejado sob SPD (por 4 anos) e SPC (por 30 anos). Os autores verificaram que os teores de carbono e nitrogênio totais são reduzidos pelo cultivo do solo quando comparado com a mata nativa (floresta subcaducifolia). No entanto, também observaram que os agregados sob SPD não apresentaram incrementos nos teores de carbono e nitrogênio totais comparativamente aos agregados sob SPC.

Em relação ao NT, Camargo et al. (1999) relatam que mais de 95% do NT do solo se apresenta na forma orgânica e, logo, o maior armazenamento de COT implica em maior disponibilidade de NT. Este padrão foi observado na área de mata e na comparação entre o SPDH e o SPC na profundidade 0-5 cm.

No SPC, o maior valor da relação C/N na profundidade de 0-5 cm pode ser decorrente da incorporação palhada do milho, que apresenta maior relação C/N se comparada com as demais plantas de cobertura. Alguns estudos apontam que o milho possui uma relação C/N de 30 ou maior (38), conforme a fase do ciclo que se encontra (Teixeira et al., 2011; Kliemann et al., 2006). Além disso, o milho quando comparado com as leguminosas, apresenta maior deposição de fitomassa e maior porcentagem de cobertura morta após o manejo das plantas (Bertin et al., 2005).

Observa-se que os valores da relação C/N nos tratamentos, com exceção do SPC, tendem a aumentar em profundidade. O manejo do solo adotado no SPC ocasiona a fragmentação dos resíduos vegetais e uniformização da camada do solo de 0-20 cm. Isso explica o fato do SPC, na profundidade de 10-20 cm, apresentar o menor valor da relação C/N, pois, enquanto os valores da relação C/N nos tratamentos

umentam em profundidade, no SPC essa relação é praticamente uniforme, devido o revolvimento e uniformização do solo.

De maneira geral, os tratamentos em consórcio favorecem a maior relação C/N como é o caso da aveia+nabo, que em 5-10 cm apresentam o maior valor do que quando solteiras. Este comportamento é visível também na profundidade de 10-20 cm, na qual o centeio e o nabo solteiros apresentaram os menores valores dentre os tratamentos em SPDH.

3.3.2 Frações húmicas da MOS

3.3.2.1 Teores de carbono das frações húmicas

Os maiores teores de C-FAF, C-FAH e C-HUM dos agregados do solo foram observados na área de mata, nas três profundidades avaliadas. O SPDH apresentou os maiores teores de C-HUM nas profundidades 0-5 e 5-10 cm em relação ao SPC. Este, por sua vez, propiciou maiores teores de C-FAF nas três profundidades quando comparado ao SPDH. Também foram verificados maiores teores de C-FAH no SPC em relação aos tratamentos no SPDH, exceto para centeio (5-10 e 10-20 cm) e nabo (5-10 cm), que não diferiram do SPC (Tabela 2).

Tabela 2. Valores médios de carbono orgânico das substâncias húmicas (g kg^{-1}) contido nos agregados de Cambissolo Húmico em sistemas de uso com cultivo de cebola e mata, Ituporanga, SC.

Tratamentos	C-HUM			C-FAH			C-FAF		
	----- Profundidades (cm) -----								
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
Aveia	20,75b	21,71b	13,25c	4,93b	4,53c	4,04c	3,44c	3,86c	4,09c
Centeio	23,99a	19,10b	12,30c	4,73b	4,97 b	4,72b	3,71c	3,53c	4,23c
Nabo	21,83b	15,03c	12,88c	4,36b	5,26b	4,38c	4,28c	3,61c	3,40c
Centeio+Nabo	24,41a	14,55c	18,55b	4,99b	4,34c	4,19c	3,78c	4,13c	3,78c
Aveia+Nabo	20,41b	17,52c	14,83c	4,44b	4,23c	4,08c	3,92c	3,47c	3,70c
Testemunha	24,87a	22,71b	11,33c	4,59b	3,94c	4,25c	3,86c	3,32c	3,59c
SPC	14,28c	11,15d	12,34c	5,33b	5,24b	4,92b	5,29b	5,05b	4,94b
Mata	25,18a	26,13a	26,88a	11,23a	7,93a	5,83a	9,11a	7,31a	6,02a
CV (%)	13,37	14,42	14,29	14,64	14,73	10,69	9,27	12,53	13,54

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.
CV= coeficiente de variação. C-HUM: carbono da fração húmica, C-FAH: carbono da fração ácidos húmicos, C-FAF: carbono da fração ácidos fúlvicos.

Dentre as SHs estudadas, em geral, observou-se o predomínio de C-HUM em todos os tratamentos e profundidades avaliadas. Este padrão é explicado por essa fração ser considerada a de maior reserva de carbono nos solos e de maior interação com a fração mineral (Stevenson, 1994; Fontana et al., 2006; Dick et al., 2009; Ebeling et al., 2011), corroborando com outros trabalhos que também observaram maiores teores de C-HUM nos agregados em diferentes sistemas de cultivo e manejo (Passos et al., 2007; Fontana et al., 2010; Borges et al., 2015).

Dentre os tratamentos com plantas de cobertura sob SPDH verificaram-se maiores teores de C-HUM para o centeio, centeio+nabo e a área com vegetação espontânea (testemunha), sendo todos iguais a área de mata na profundidade de 0-5 cm. Na profundidade de 5-10 cm os teores de C-HUM sob SPDH foram maiores nos tratamentos com aveia, centeio e testemunha, sendo os demais tratamentos (nabo, centeio+nabo e aveia+nabo) maiores que o SPC. Na profundidade de 10-20 cm, apenas o tratamento centeio+nabo apresentou maiores teores de C-HUM em comparação aos demais tratamentos sob SPDH e ao SPC.

O revolvimento restrito do solo no SPDH favorece a consolidação natural do solo e o acúmulo de resíduos vegetais na superfície, os quais elevam o teor de matéria orgânica e a atividade biológica. Neste ambiente, plantas de cobertura solteiras como o centeio e em consórcio com o nabo (centeio+nabo) favorecem a produção de substâncias orgânicas cimentantes e, conseqüentemente, a formação e estabilização dos agregados protegendo a matéria orgânica em seu interior. O centeio destaca-se em relação aos aspectos químicos, uma vez que possui um sistema radicular fasciculado e denso, que distribui mais uniformemente os exsudatos radiculares; e o nabo, por sua vez, imprime um maior efeito físico ao solo ao comprimi-lo à medida que desenvolve seu sistema radicular pivotante (Casali, 2012; Loss et al., 2015). Na área testemunha, a diversidade de famílias e espécies que compõem a vegetação espontânea também favorece os processos físicos e químicos relacionados à agregação do solo e, quando associada às técnicas conservacionistas de manejo adotadas no SPDH, possibilita maior proteção do carbono contido nos agregados e maiores taxas de humificação da MOS.

Nos tratamentos com cultivos solteiros de aveia e nabo, e no consórcio de aveia+nabo verificaram-se menores valores de C-HUM em comparação aos tratamentos com centeio, centeio+nabo e testemunha, porém todos com maiores valores que o SPC. Os menores teores de C-

HUM dos agregados do solo encontrados no SPC são decorrentes das práticas de manejo adotadas neste sistema, pois a humina é a fração mais estável da MOS, composta de matéria orgânica recalcitrante e fortemente estabilizada com a parte mineral (Stevenson, 1994; Fontana et al., 2010). O SPC desfavorece a formação e estabilidade dos agregados do solo, principalmente na profundidade superficial, devido ao excessivo revolvimento do solo e exposição da matéria orgânica. Mesmo com um elevado aporte de massa seca do milho no SPC (Tabela 1), as práticas de aração, gradagem e escarificação por longo tempo no cultivo da cebola favoreceram as perdas de COT (Figura 2a), causando as menores taxas de humificação da MOS e, consequentemente, os menores teores de carbono ligados à fração humina, quando comparado aos demais sistemas avaliados nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm (Tabela 2).

Para o C-FAH, os maiores teores foram encontrados na área de mata nas três profundidades. Na profundidade de 0-5 cm, não houve diferenças entre os tratamentos sob SPDH e o SPC, enquanto na profundidade de 5-10 cm, o SPC e os tratamentos nabo e centeio do SPDH, assim como na profundidade 10-20 cm, o SPC e o tratamento centeio, apresentaram os maiores teores de C-FAH. Quanto aos teores de C-FAF, verificaram-se maiores valores na área de mata, seguido do SPC e os menores no SPDH em todas as profundidades avaliadas (Tabela 2).

Na área de mata, os maiores teores de C-FAH e C-FAF são devidos ao maior aporte de serapilheira e ausência de influência antrópica, apresentando o mesmo padrão observado para o COT e C-HUM. Em ambientes naturais, a formação das SHs é atrelada à atividade microbiana (Machado e Gerzabeck, 1993), sendo a humificação, ao longo do tempo, o resultado final do processo microbiológico. Estes resultados são corroborados por outros autores que também quantificaram o carbono das SHs no solo e nos agregados (Assis et al., 2006; Fontana et al., 2010; Loss et al., 2013; Beutler et al., 2015).

No SPC, os maiores teores de C-FAH e C-FAF em comparação ao SPDH, mesmo com a ruptura dos agregados do solo e posterior exposição da MOS ao ataque dos microrganismos, são devidos à adição anual de massa seca do milho (Tabela 1) por longo tempo. Esses resíduos vegetais apresentam lenta decomposição (alta relação C/N), favorecendo o processo de humificação em comparação ao processo de mineralização. Dessa forma, pode-se favorecer a proteção química das SHs, decorrente de sua interação com a fração mineral do solo. Estes resultados são semelhantes aos verificados por Passos et al. (2007), que

quantificaram o carbono das SHs em agregados sob áreas de milho em SPC por mais de 30 anos e uma área de vegetação nativa (Cerrado). Os autores encontraram maiores valores de C-FAF e C-FAH na área de milho em SPC em detrimento do Cerrado, atribuindo esse comportamento à adição anual dos resíduos de milho, decorrente a sua alta relação C/N.

No SPDH, para o C-FAH, o tratamento centeio+nabo (5-10 cm) e centeio (10-20 cm) apresentaram maiores valores em comparação aos demais e não diferiram do SPC (Tabela 2). Os resultados encontrados nestes tratamentos sob SPDH indicam o favorecimento do processo de humificação e formação de moléculas de maior massa molar, e, dessa forma, a condensação natural e prevalência de C-FAH no solo nestas profundidades (Slepetiene e Slepetys, 2005; Casali 2012), favorecendo a formação de macroagregados (Loss et al., 2015) e, assim, maiores teores de C-FAH no interior desses.

Os valores para a relação C-FAH/C-FAF foram todos iguais e, ou, superiores a 1,0 em todos os sistemas avaliados, sendo verificadas diferenças entre os tratamentos nas profundidades 0-5 e 5-10 cm. O menor valor foi encontrado no SPC, porém este não diferiu dos tratamentos com nabo e aveia+nabo para a profundidade de 0-5 cm. Os demais tratamentos apresentaram valores variando de 1,19 (testemunha) até 1,43 (aveia). Na profundidade de 5-10 cm, os maiores valores dessa relação foram observados nos tratamentos com centeio e nabo, sendo nos demais observados valores variando de 1,04 (SPC) a 1,22 (aveia+nabo). Na profundidade de 10-20 cm não foram verificadas diferenças entre os tratamentos, sendo verificados valores variando de 0,97 (mata) a 1,29 (nabo) (Tabela 3).

Tabela 3. Relação do C-FAH/C-FAF e C-EA/C-HUM nos agregados de um Cambissolo Húmico sob diferentes tratamentos com cultivo de cebola, Ituporanga, SC.

Tratamentos	C-FAH/C-FAF			C-EA/C-HUM		
	----- Profundidades (cm) -----					
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
Aveia	1,43 a	1,17 b	0,99 ^{ns}	0,41 b	0,39 c	0,62 b
Centeio	1,27 a	1,41 a	1,12	0,36 b	0,45 c	0,73 a
Nabo	1,02 b	1,46 a	1,29	0,40 b	0,60 b	0,61 b
Centeio+Nabo	1,32 a	1,05 b	1,11	0,37 b	0,59 b	0,43 c
Aveia+Nabo	1,13 b	1,22 b	1,10	0,43 b	0,45 c	0,53 c
Testemunha	1,19 a	1,19 b	1,18	0,34 b	0,32 c	0,70 a
SPC	1,00 b	1,04 b	1,00	0,74 a	0,93 a	0,81 a
Mata	1,23 a	1,08 b	0,97	0,81 a	0,60 b	0,46 c
CV (%)	14,40	18,90	16,42	16,37	18,54	14,03

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%. CV= coeficiente de variação. C-FAH: carbono da fração ácido húmico, C-FAF: carbono da fração ácido fúlvico, C-EA/C-HUM: soma do carbono das frações ácidos húmicos e fração ácidos fúlvicos, C-HUM: carbono da fração humina. ns = não significativo pelo teste F a 5%.

A relação C-FAH/C-FAF indica a qualidade do húmus, pois expressa o grau de evolução do processo de humificação da MOS (Kononova, 1982; Benites et al., 2003). Em solos intemperizados, normalmente, esta relação é inferior a 1,0, devido à menor intensidade do processo de humificação, condensação e síntese, atribuídas à intensa mineralização dos resíduos vegetais, restrições edáficas e ao baixo conteúdo de bases trocáveis, que desfavorecem a atividade biológica nesses solos (Canellas et al., 2002). Nota-se que os tratamentos com aveia, centeio, centeio+nabo, testemunha e a área de mata na profundidade de 0-5 cm, assim como centeio e nabo a 5-10 cm, estão favorecendo a humificação da MOS, pois nestes sistemas os valores da relação C-FAH/C-FAF foram maiores que 1,0 e superiores aos demais tratamentos. Estes resultados indicam que nos sistemas avaliados tem-se um material de ótima qualidade, favorecendo o estabelecimento de propriedades físicas e químicas benéficas ao desenvolvimento das plantas, conforme relatado por Guareschi et al. (2013) e corroborado por outros autores (Fontana et al., 2006; Giacomini et al., 2008; Loss et al., 2010; 2013; Borges et al., 2015).

Os valores da C-FAH/C-FAF superiores a 1,0 encontrados nos sistemas avaliados (Tabela 3) indicam que, nestas áreas, há predomínio

do carbono da fração ácidos húmicos em relação aos ácidos fúlvicos, apresentando um material orgânico mais estável. A manutenção de maiores teores de C-FAH em detrimento dos teores de C-FAF normalmente evidencia solos mais preservados, sob manejo mais conservacionista (Canellas et al., 2003), destacando-se os tratamentos com aveia (0-5 cm) e centeio e nabo (5-10 cm) em comparação ao SPC. Neste sistema, os menores valores da relação C-FAH/C-FAF indicam maior mobilidade do carbono no solo, predominando o C-FAF (mais solúvel), o que pode estar associado ao manejo (aração, gradagens e escarificação), que desfavorece a formação de SHs mais estáveis, tais como o C-FAH e C-HUM.

Quanto ao índice C-EA/C-HUM, observou-se que as áreas sob SPDH apresentaram as menores médias na profundidade de 0-5 cm quando comparadas às áreas sob SPC e mata. Na profundidade de 5-10 cm, todos os sistemas avaliados apresentaram valores dessa relação inferior ao SPC. A relação $(C-FAF+C-FAH)/C-HUM$ tem sido proposta como indicadora da estabilidade da MOS (Labrador Moreno, 1996), onde os menores valores indicam predomínio do C-HUM e melhor estabilidade química da MOS nessas áreas. No SPC, os maiores valores encontrados em comparação aos tratamentos com SPDH indicam que as práticas de aração, gradagens e escarificação desfavorecem a formação das SHs mais estáveis (C-HUM e C-FAH) e, conseqüentemente, tem-se maiores teores da fração mais solúvel (C-FAF) e menor grau de humificação no SPC em comparação ao SPDH.

Na área de mata, o maior valor da relação C-EA/C-HUM na profundidade superficial indica maior grau de atividade biológica, o que promove maior polimerização de compostos húmicos e favorece a formação do C-FAH em relação ao C-FAF, conforme consta na Tabela 2 e também já relatado por Leite et al. (2003) e Slepeticene e Slepetyts (2005).

3.3.2.2 Teores de nitrogênio das frações húmicas

Quanto ao nitrogênio das SHs, de modo geral, a fração N-HUM foi superior às frações N-FAH e N-FAF, assim como o padrão apresentado para o C-HUM, evidenciando uma relação linear dos teores de C-HUM com N-HUM, sobretudo, na profundidade de 0-5 cm. Os maiores teores de N-HUM, N-FAH e N-FAF foram encontrados na área de mata, nas três profundidades avaliadas, com exceção do N-FAF na profundidade 0-5 cm, na qual o SPC apresentou maior valor. Na profundidade 0-5 cm os tratamentos sob SPDH apresentaram teores de N-HUM superiores ao SPC, na profundidade de 5-10 cm, a aveia+nabo

e na profundidade de 10-20 cm, os tratamentos aveia, aveia+nabo e testemunha se igualaram aos valores encontrados na área de mata (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios de nitrogênio orgânico das substâncias húmicas (g kg^{-1}) contida nos agregados de um Cambissolo Húmico sob sistemas de uso do solo com cultivo de cebola e mata, Ituporanga, SC.

Tratamentos	N-HUM			N-FAH			N-FAF		
	Profundidades (cm)								
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
Aveia	1,40b	1,22b	1,04 ^a	0,22b	0,24b	0,28b	0,16c	0,16b	0,10b
Centeio	1,76b	1,16b	0,72b	0,24b	0,20b	0,24c	0,10d	0,12b	0,12b
Nabo	1,22c	1,26b	0,66b	0,24b	0,28b	0,24c	0,10d	0,10b	0,12b
Centeio+Nabo	1,60b	0,78c	0,70b	0,26b	0,22b	0,20c	0,10d	0,14b	0,10b
Aveia +Nabo	1,52b	1,52a	1,22 ^a	0,28b	0,25b	0,20c	0,12d	0,12b	0,14b
Testemunha	1,62b	0,80c	0,88 ^a	0,26b	0,28b	0,20c	0,22c	0,12b	0,22a
SPC	0,86d	0,84c	0,60b	0,26b	0,22b	0,22c	0,40a	0,20a	0,12b
Mata	2,68a	1,72a	1,02 ^a	0,80a	0,54a	0,36a	0,28b	0,25a	0,22a
CV (%)	12,62	20,10	26,77	20,37	22,04	24,40	37,74	46,37	31,94

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%. CV= coeficiente de variação. N-FAH: nitrogênio da fração ácido húmico, N-FAF: nitrogênio da fração ácido fúlvico, N-HUM: nitrogênio da fração humina.

Os resultados para o N das SHs encontrados na área de mata e nos tratamentos sob SPDH seguem o padrão apresentado para o carbono das SHs, no qual as taxas de adição, transformação e perdas de carbono e nitrogênio no solo mantêm-se em maior equilíbrio, de modo a favorecer o processo de humificação. Por isso apresentam os maiores teores de C e N nas frações mais estáveis da MOS e, principalmente, na profundidade de 0-5 cm.

Conforme descrito por Assis et al. (2006), a presença de N nas SHs é indicativo que parte do N do solo se encontra estabilizado nessas frações, com baixa taxa de reciclagem e disponibilidade para as plantas. Os autores, em trabalho realizado em agregados de um Latossolo, observaram que os sistemas de uso e manejo do solo, dentre eles, o SPD por quatro anos com a sucessão de milho e soja; o SPC de milho por 30 anos e uma área de mata nativa, propiciaram mudanças nos teores de C e N, nas diferentes classes de tamanho dos agregados, e o cultivo do solo reduziu os teores de C e nitrogênio das SHs.

Ainda em relação ao N-HUM, os tratamentos aveia, aveia+nabo e testemunha do SPDH se destacaram na profundidade de 10-20 cm devido, principalmente, aos seus sistemas radiculares e à diversidade de

espécies que compõem a testemunha. A abundância e a diversidade desses sistemas radiculares atuam no solo em diferentes profundidades e de forma dinâmica, distribuindo mais uniformemente os exsudatos radiculares. Deste modo, tanto a agregação como a proteção do carbono no interior dos agregados são favorecidos, incrementando além do carbono, o nitrogênio em maiores profundidades do solo, sobretudo em frações mais estáveis da MOS, como o N-HUM e o N-FAH (Castro Filho et al., 1998; Mielniczuk, 1999; Silva et al., 2008).

O SPC apresentou os menores teores de N-HUM na profundidade 0-5 cm e os maiores teores de N-FAH nas profundidades 0-5 e 5-10 cm, igualando-se à mata a 5-10 cm. Essas diferenças podem ser atribuídas à movimentação do solo no SPC, onde a quebra e posterior exposição dos agregados à aeração resulta em maior atividade microbiana, podendo favorecer a formação, em primeira instância, da FAF (Guerra et al., 2008). A utilização do milho como planta de cobertura é outro fator que contribui substancialmente para esses resultados, seguindo a mesma tendência apresentada para o carbono das SHs.

Para o N-FAH os tratamentos sob SPDH e SPC não diferiram entre si e apresentaram as menores médias em relação à área de mata nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm. Já na profundidade de 10-20 cm, o tratamento aveia se destacou dos demais tratamentos do SPDH e do SPC, apresentando valores de N-FAH intermediários ao da mata.

Em relação ao N-FAH do SPDH, não houve diferenças entre os tratamentos para a profundidade de 5-10 cm. Já na profundidade de 0-5 cm a aveia e a testemunha se destacaram com as maiores médias e na profundidade de 10-20 a testemunha se igualou à mata, apresentando maiores teores de N-FAH comparado aos demais tratamentos sob SPDH. Estes resultados podem ter ocorrido em função da diversidade, velocidade e tipos de compostos liberados na decomposição da biomassa que compõe a vegetação espontânea.

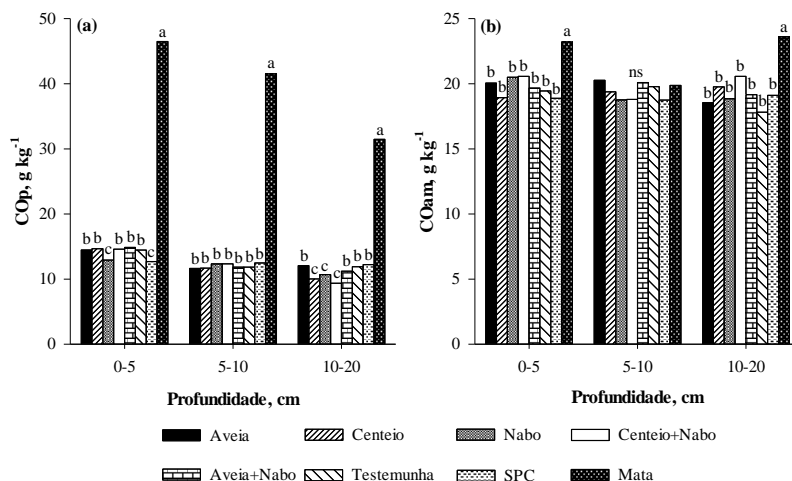
Os teores de C e N das SHs representam uma fração passiva da MOS, pois as SHs são caracterizadas como moléculas orgânicas altamente recalcitrantes no solo, ou seja, são mais difíceis de serem alteradas pelas práticas de manejo (Stevenson, 1994; Silva & Resck, 1997). Entretanto, neste estudo verificou-se que o SPC reduziu os teores de C-HUM (0-10 cm) e N-HUM (0-5 cm) em comparação ao SPDH, indicando que as práticas adotadas no SPC desfavorecem a fração mais estável da MOS (humina), enquanto no SPDH, tem-se o aumento da humificação da MOS. Este padrão é corroborado pelos maiores teores de NT (Figura 2b) no SPDH em comparação ao SPC na profundidade de 0-5 cm, o que poderá refletir diretamente na produtividade agrícola.

3.3.3 Frações granulométricas da MOS

3.3.3.1 Carbono das frações granulométricas

Os maiores valores de COp, nas três profundidades avaliadas, e de COam, nas profundidades de 0-5 e 10-20 cm, foram encontrados na área de mata (Figura 3). Isso decorre do aporte contínuo de material orgânico, seguindo o mesmo padrão apresentado para o COT (Figura 2a).

Figura 3. Valores médios carbono orgânico particulado (COp, a); e carbono orgânico associado aos minerais (COam, b) em agregados do solo em sistemas de uso do solo com cultivo de cebola e mata em Ituporanga, SC.



Letras diferentes para o mesmo atributo avaliado, em cada profundidade, indicam diferenças estatísticas pelo teste de Scott-Knott a 5%.

O SPDH em relação ao SPC contribuiu significativamente para o aumento do COp nos agregados do solo na profundidade de 0-5 cm, exceto quando utilizado o nabo como planta de cobertura, pois esse tratamento não diferiu do SPC. Ainda em relação ao COp, na profundidade de 5-10 cm, os tratamentos sob SPDH e o SPC não diferiram entre si, e na profundidade 10-20 cm, os tratamentos com centeio e nabo (solteiros) e o consórcio de ambos apresentaram os menores valores em relação aos demais tratamentos (Figura 3a).

O menor valor de COp encontrado no tratamento com o nabo, na camada superficial do solo (0-5 cm), pode estar relacionado ao menor teor de lignina e, consequentemente, maior teor de celulose que os seus resíduos vegetais apresentam em relação as demais plantas de cobertura avaliadas, propiciando a sua decomposição de mais rapidamente e, consequentemente, menores teores de COp. Estes resultados podem, também, estar associados ao sistema radicular dessa crucífera, que por ser pivotante imprime um maior efeito físico ao solo, com menor aporte de carbono via rizodeposição quando comparado às demais espécies de cobertura utilizadas no SPDH que, por sua vez, apresentam sistema radicular fasciculado (Giacomini et al., 2003; Cruciol et al., 2005).

Quanto ao SPC, os menores valores de COp na profundidade 0-5 cm são devidos ao revolvimento do solo, ocasionando a ruptura dos agregados, com consequente exposição do COp protegido no interior desses, favorecendo a sua rápida decomposição quando comparado aos demais tratamentos. A ausência de diferenças entre o SPC e o SPDH na profundidade de 5-10 cm, bem como os maiores valores de COp no SPC em relação ao centeio, nabo e centeio+nabo na profundidade de 10-20 cm, podem ser decorrentes da utilização do milheto como planta de cobertura no SPC, de modo que, a adição de seus resíduos vegetais na superfície do solo com posterior utilização das práticas de aração e gradagem ocasionaram o transporte e redistribuição desses resíduos da superfície para as profundidades de 5-10 e 10-20 cm.

Observa-se que no SPDH, em relação ao COp, na profundidade de 10-20 cm, que os tratamentos com utilização da aveia, tanto solteira quanto consorciada com o nabo, e o tratamento com a vegetação espontânea (testemunha) se destacaram, das demais espécies utilizadas para cobertura do solo. Esse padrão para a aveia solteira pode ser relacionado principalmente ao seu sistema radicular fasciculado e dinâmico, constantemente renovado, que explora o solo e favorece a deposição de raízes em profundidade. A aveia é uma espécie de elevada fitomassa e relação C/N e quando consorciada com o nabo, que por sua vez, apresenta sistema radicular pivotante e profundo, têm-se o efeito tanto físico quanto químico em profundidade, favorecendo a agregação e o incremento e proteção do carbono nos agregados, neste caso, de COp, uma vez que essa fração está diretamente relacionada ao material vegetal recentemente adicionado ao solo (Loss et al., 2009; Rossi et al., 2012, Oliveira 2015).

Na testemunha, a diversidade de famílias e espécies que compõem a vegetação espontânea também favorece a exploração do solo via sistema radicular e, consequentemente, o aporte de resíduos

vegetais via rizodeposição. Além disso, este tratamento apresentou alta relação C/N e quando associado às técnicas conservacionistas de manejo adotadas no SPDH, possibilitam maior incremento e proteção do COp contido nos agregados.

Os maiores teores de COT (Figura 2a) e COp (Figura 3a) encontrados na profundidade 0-5 cm do solo sob SPDH são devidos ao uso de cobertura do solo (viva e, ou, morta) e da ausência de revolvimento do mesmo, que favorecem a manutenção da umidade do solo, diminuem os extremos de temperatura do solo e desfavorecem a mineralização da MOS, quando comparado ao SPC (Loss et al., 2009; 2011).

Em relação ao COam, não foram verificadas diferenças entre os tratamentos sob SPDH e SPC, e os maiores valores foram verificados na área de mata nas profundidades de 0-5 e 10-20 cm (Figura 3b). Esta fração apresenta um comportamento similar ao COT, onde a área de mata também apresentou os maiores valores (Figura 2a). Estes resultados corroboram com os de Bayer et al. (2004) e Loss et al. (2009), nos quais os teores e estoques de COam em profundidade não foram influenciados pelos sistemas de manejo. Porém, neste estudo observou-se na profundidade de 0-5 cm uma redução de 18,7% nos teores de COam para o SPC em relação a área de mata. Entre os tratamentos sob SPDH, essa redução é menor, com exceção ao centeio. Assim, comparando-se a redução dos teores de COam entre o SPDH e o SPC na profundidade superficial (0-5 cm), verificou-se uma redução na área de SPC, proporcionalmente às demais áreas, de 5,9; 0,3; 8,0; 8,2; 4,0 e 3,0% para a aveia, centeio, nabo forrageiro, nabo + centeio, aveia + nabo e vegetação espontânea, respectivamente (Figura 4b).

Observa-se com estes resultados que o SPC desfavoreceu a manutenção dos teores de COam em relação à mata e que o SPDH contribuiu, ainda que sem significância estatística, com a melhoria deste atributo no solo. A redução dos teores de COam no SPC está relacionada com a redução dos teores de carbono da fração particulada (COp) em virtude das práticas de preparo do solo utilizadas. Isso faz com que os microrganismos utilizem compostos orgânicos associados às superfícies das frações silte e argila, resultando em decréscimo dos teores de COam (Blair et al., 1998).

3.3.3.2 Nitrogênio das frações granulométricas

A área de mata apresentou os maiores valores de NOp em todas as profundidades analisadas. Para a profundidade de 0-5 cm, os

tratamentos testemunha e aveia+nabo apresentaram os maiores valores de NOP em relação aos demais tratamentos sob SPDH e SPC. Para a profundidade de 5-10 cm, o SPDH e o SPC não diferiram e apresentaram as menores médias. Já para a profundidade de 10-20 cm, o SPC e o centeio apresentaram os maiores valores em relação aos demais tratamentos sob SPDH (Tabela 5).

Tabela 5. Teores de nitrogênio orgânico particulado (NOP) e associado aos minerais (NOam) em agregados do solo em sistemas de uso do solo com cultivo de cebola e mata, em Ituporanga, SC.

Tratamentos	NOp			NOam		
	Profundidades (cm)					
	0-5	5-10	10-20	0-5	5-10	10-20
Aveia	0,41c	0,16b	0,07c	1,98b	1,57b	1,32b
Centeio	0,41c	0,18b	0,17b	1,94b	1,55b	1,38b
Nabo	0,33d	0,16b	0,12c	2,07a	1,75b	1,35b
Centeio+Nabo	0,44c	0,20b	0,07c	2,15a	1,61b	1,34b
Aveia+Nabo	0,55b	0,13b	0,11c	2,08a	1,40c	1,35b
Testemunha	0,52b	0,18b	0,09c	1,84b	1,64b	1,31b
SPC	0,18e	0,15b	0,19b	1,67b	1,60b	1,60a
Mata	2,35a	1,31a	0,75a	2,31a	2,08a	1,54a
CV (%)	11,11	27,4	29,93	9,68	7,76	11,25

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Skott-Knott a 5%. CV=coeficiente de variação.

Quanto à fração associada aos minerais (NOam), a mata apresentou os maiores valores para todas as profundidades avaliadas. Os tratamentos com nabo, centeio+nabo e aveia+nabo apresentaram teores de NOam semelhantes aos da mata na profundidade de 0-5 cm. Na profundidade de 5-10 cm, o consórcio aveia+nabo apresentou o menor valor de NOam e na profundidade de 10-20 cm não foram verificadas diferenças entre os tratamentos sob SPDH, porém, no SPC e na mata verificaram-se os maiores valores de NOam (Tabela 5).

O menor valor de NOP no SPC para 0-5 cm é devido ao revolvimento do solo, assim interferindo negativamente na manutenção dessa fração. Com a ruptura dos agregados do solo, a MOS fica mais facilmente exposta ao ataque dos microrganismos, o que favorece a aceleração de sua mineralização, resultando no rápido declínio do NOP no solo sob SPC em comparação aos tratamentos em SPDH. Segundo Bayer et al. (2000), o N é um componente chave da MOS, sendo assim,

alterações que ocorrem nesta, afetam diretamente a dinâmica do N no solo.

Ainda, devido a fração particulada (COP e NOP) possuir alta labilidade (Bayer et al., 2002), o NT, assim como o COT, também sofrem alterações quando essas frações são afetadas pelos sistemas de manejo. Em termos gerais, o SPDH causa menores impactos nos teores de COP e NOP devido à proteção física destas frações nos agregados. No SPDH tem-se maior proteção do solo devido ao revolvimento restrito do solo e à cobertura oferecida pelas plantas, permitindo assim maior proteção da MOS contra processos erosivos (Hernani et al., 1999), além de favorecer o aumento na capacidade de troca catiônica (Bayer & Mielniczuk, 1999) e maior acúmulo de NT e COT (Figura 2), COP e NOP (Figura 3) em relação ao SPC na profundidade de 0-5 cm.

Entre os tratamentos sob SPDH, o nabo, solteiro, apresentou o menor valor de NOP, possivelmente devido ao menor efeito químico que esta crucífera apresenta, o que também resultou em menores teores de COP (Figura 3a). Já para o consórcio aveia+nabo e a testemunha, os maiores valores de NOP, possivelmente se devem à interação entre a gramínea e a crucífera, o que favorece o efeito químico da aveia via liberação de exsudatos e o efeito físico do nabo ao crescer, comprimindo as partículas do solo. Na testemunha, há maior diversidade de espécies que formam a cobertura do solo; assim esses dois tratamentos favorecem ao aumento do NOP nos agregados.

Para a profundidade de 10-20 cm, os maiores valores de NOP no SPC podem ser devidos ao efeito do revolvimento do solo, no qual se faz a fragmentação e homogeneização dos resíduos vegetais do milho da superfície para as profundidades subsequentes. Este fato também foi observado para as demais frações do N, onde na profundidade de 10-20 cm, tanto para o NOam (Tabela 5) quanto para o NT (Figura 3b), o SPC apresentou o maior valor de N em comparação aos demais tratamentos. Ainda em relação à profundidade de 10-20 cm, o tratamento centeio não diferiu do SPC, porém apresentou os maiores teores de NOP em comparação aos demais tratamentos sob SPDH. Estes resultados podem ser devidos aos aspectos químicos do centeio, uma vez que a espécie possui um sistema radicular fasciculado e denso, que distribui mais uniformemente os exsudatos radiculares (Casali, 2012). Dessa forma, pode incrementar os teores de NOP no interior dos agregados.

Para o NOam verificaram-se maiores diferenças entre os sistemas avaliados quando comparado com o COam. Na profundidade de 0-5 cm, os tratamentos com nabo, centeio+nabo e aveia+nabo apresentaram teores de NOam iguais aos da mata e maiores que o SPC, testemunha,

aveia e centeio solteiros (Tabela 5). Estes resultados indicam que os tratamentos nabo solteiro e consorciado com a aveia e o centeio são mais eficientes em aumentar os teores de NOam em comparação aos demais tratamentos sob SPDH e em relação ao SPC. As práticas adotadas no SPC (aração e gradagem), mesmo com o uso do milheto como planta de cobertura, acelera a mineralização do NOam, assim como verificado para o NT (Figura 3b). No entanto, mesmo o SPC não apresentando diferença estatística em comparação aos tratamentos aveia, centeio e testemunha sob SPDH, estes apresentaram maiores proporções de NOam, sendo 15,7%, 14,0% e 9,2%, respectivamente, em comparação ao SPC.

A mata apresentou o maior valor de NOam na profundidade de 5-10 cm. Em contrapartida, o consórcio aveia+nabo teve o menor valor. Para a profundidade de 10-20 cm, além da mata, o SPC também apresentou o maior valor de NOam, diferenciando-se dos demais tratamentos sob SPDH.

Considerando o exposto por Da Ross (1993), que a aveia apresenta-se como uma planta que produz elevada fitomassa e que seus resíduos vegetais permanecem no solo por um período de tempo relativamente longo, pode-se inferir que o N é liberado mais lentamente, acarretando no menor valor de NOam em relação aos demais tratamentos quando a aveia está consorciada com o nabo.

O fato dos teores de NOam no SPC serem maiores do que o SPDH na última profundidade analisada, torna visível a ação do revolvimento do solo neste sistema de plantio, uma vez que os resíduos vegetais do milheto são incorporados ao solo, ocorrendo assim a decomposição e liberação do N, fazendo com que seja maior a quantidade de N associada ao silte e argila.

Na área de mata, nas profundidades de 5-10 e 10-20 cm, os maiores valores de NOam, possivelmente são decorrentes da maior presença de sítios capazes de realizar ligações com os elementos, inclusive com o N do solo, protegendo-o e evitando perdas por lixiviação ou volatilização, pois nesta área tem-se maiores teores de COT e NT (Figura 2).

Os maiores teores de COT e NT (Figura 2), COP (Figura 3a) e NOp (Tabela 5), C-HUM (Tabela 2) e N-HUM (Tabela 4), todos na profundidade de 0-5 cm, no SPDH em relação ao SPC, têm relação direta com os maiores índices de agregação do solo (diâmetro médio ponderado e macro e mesoagregados) encontrados em todos os tratamentos do SPDH na profundidade de 0-5 cm (Loss et al., 2015).

De maneira geral, o SPDH adotado no cultivo de cebola apresenta potencial para conservar e incrementar os teores de carbono e de nitrogênio dos agregados do solo e, conseqüentemente, pode reduzir os danos causados pelo SPC e contribuir para a redução de impactos ambientais do agroecossistema.

3.4 CONCLUSÕES

Os sistemas avaliados exercem influência sobre os teores de C e N das frações húmicas e granulométricas da MOS contidos nos agregados, de modo que o SPDH em comparação ao SPC, favorece o processo de humificação da MOS (até 10 cm de profundidade) e proteção da matéria orgânica (até 5 cm de profundidade).

Em relação às frações húmicas da MOS, no SPDH, os tratamentos centeio solteiro e em consórcio com o nabo favorecem o processo de humificação da matéria orgânica, com predomínio de carbono nas frações mais estáveis (C-HUM e C-FAH), padrão também observado no tratamento testemunha para o C-HUM.

Quanto às frações granulométricas da MOS, no SPDH, o uso da aveia e do centeio solteiros e consorciados com o nabo, assim como a vegetação espontânea, aumentam os teores de COp. O consórcio entre aveia+nabo e a vegetação espontânea também contribuem para o aumento dos teores de NOp. O nabo solteiro e em consórcio aumenta o NOam, sendo este mais eficiente que o COam para evidenciar diferenças entre os sistemas avaliados.

A conversão de áreas em SPC para SPDH favorece o aumento dos teores de COT e NT, assim como de suas frações húmicas (HUM e FAH) e granulométricas (COp e NOp) na camada superficial do solo.

4 CAPÍTULO II: ATRIBUTOS QUÍMICOS EM AGREGADOS DO SOLO SOB SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL DE CEBOLA

RESUMO

Os elementos presentes no solo são fundamentais para a manutenção da capacidade produtiva dos agroecossistemas e qualidade ambiental. Seu conteúdo e disponibilidade podem ser de origem pedogenética ou de ação antrópica, como práticas de manejo adotadas no solo e espécies de plantas de cobertura utilizadas. Objetivou-se neste trabalho avaliar os atributos químicos de agregados de um Cambissolo Húmico cultivado com cebola em sistemas de plantio direto de hortaliças (SPDH) e de preparo convencional (SPC) do solo, comparado a uma área de floresta secundária, em Ituporanga, SC. Os tratamentos avaliados constituíram-se da utilização de plantas de cobertura, solteiras e consorciadas em SPDH de cebola: vegetação espontânea, 100% aveia; 100% centeio; 100% nabo forrageiro; nabo forrageiro (14%) e centeio (86%); nabo forrageiro (14%) e aveia (86%). Adicionalmente, foram avaliadas uma área sob SPC do solo com cultivo de cebola por 37 anos e uma área de mata (floresta secundária; 30 anos), ambas adjacentes ao experimento. Cinco anos após implantação dos tratamentos com plantas de cobertura foram coletadas amostras indeformadas do solo nas profundidades 0-5, 5-10 e 10-20 cm e obtidos os agregados ($8,00 \text{ mm} > \varnothing \geq 2,0 \text{ mm}$). Nestes foram determinados o pH em água, teores trocáveis de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} e H+Al , além dos teores disponíveis de K^{+} e P, e calculados os valores da soma de bases (S) e capacidade de troca de cátions (CTC). No SPDH, o uso das plantas de coberturas solteiras e consorciadas e o revolvimento restrito à linha de plantio contribuíram significativamente com a ciclagem de nutrientes e favoreceram o incremento de Ca (0-20 cm), Mg (0-10 cm) e, principalmente, K (0-20 cm) nos agregados do solo, caracterizando-se um sistema que melhora as propriedades químicas do solo quando comparado ao SPC.

Palavras-chave: Plantas de cobertura. Fertilidade de agregados. Capacidade produtiva do solo. Agroecossistemas.

ATTRIBUTES CHEMICALS IN SOIL AGGREGATES IN PLANTING SYSTEMS DIRECT AND CONVENTIONAL OF ONION

SUMMARY

The elements present in the soil are essential to maintaining the productive capacity of agro-ecosystems and environmental quality. Its content and availability can be pedogenetic origin or human action, such as management practices in soil and species used cover crops. The aim of this study was to evaluate the chemical properties of aggregates of a Humic Cambisol cultivated with onions in direct vegetable planting systems (NTSV) and conventional tillage (CTS) of the soil, compared to an area of secondary forest in Ituporanga, SC . The treatments were constituted the use of cover crops, mixed and single in onion NTSV: spontaneous vegetation, 100% oats; 100% rye; 100% turnip; turnip (14%) and rye (86%); turnip (14%) and oats (86%). Additionally, they evaluated an area under soil CTS with onion cultivation for 37 years and a forest area (secondary forest, 30 years), both adjacent to the experiment. Five years after implantation of treatments with cover crops Undisturbed soil samples were collected from depths of 0-5, 5-10 and 10-20 cm and obtained aggregates ($8.00 \text{ mm} > \varnothing \geq 2.0 \text{ mm}$). These were determined pH, exchangeable contents of Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} and $\text{M} + \text{Al}$, besides the available concentration of K^{+} and P, and calculated values of the base sum (S) and the ability to cation exchange (CEC). In NTSV, the use of plants in mixed and single covers and restricted tilling the planting line contributed significantly to the cycling of nutrients and favored the increase of Ca (0-20 cm), Mg (0-10 cm) and especially K (0-20 cm) in soil aggregates, characterizing a system that improves the soil properties when compared to the CTS.

Key words: Cover crops. Fertility aggregates. Productive capacity of the soil. Agroecosystems.

4.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com grandes e amplas possibilidades de contribuir significativamente para o suprimento da demanda mundial por alimentos, que tende a aumentar consideravelmente nas próximas décadas (FAO, 2015). No entanto, grandes extensões de suas terras agrícolas apresentam problemas de fertilidade, em geral, correlacionadas

com alta toxidez por Al, baixas reservas de K e alta capacidade de seus solos em fixar P (Bot et al., 2000; Lopes, 2005; Lopes & Guilherme, 2007).

Os elementos presentes no solo são indicadores de qualidade ambiental e indispensáveis para a manutenção da capacidade produtiva dos agroecossistemas. Seu conteúdo e disponibilidade podem ser de origem pedogenética ou de ação antrópica e influenciar fatores ambientais essenciais à vida humana, como, por exemplo, o ciclo da água, o equilíbrio de gases atmosférico e a produção de alimentos (Lopes & Guilherme, 2007).

O estado de Santa Catarina está localizado na região Sul do Brasil, representando 1,1% de seu território e é, desde o ano de 1992, o maior produtor nacional de cebola, hortaliça de importância socioeconômica no País (Freitas, 2012; ACATE, 2014; IBGE, 2015). Seu cultivo é realizado majoritariamente em sistema de preparo convencional (SPC) do solo, com o uso intensivo de agrotóxicos e de fertilizantes de alta solubilidade (Gonçalves et al., 2008). Para o preparo do solo, no momento do plantio é realizado uma aração, seguida de uma, ou duas gradagens (Epagri, 2013), ocasionando a quebra dos agregados do solo, que associado à falta de cobertura vegetal neste sistema, favorece os processos erosivos e potencializa as perdas de solo, água e nutrientes (Albuquerque et al., 2002; Panachuki et al., 2011; Castro et al., 2011; Loss et al., 2015). Deste modo, além de impactos ambientais, a utilização dessas técnicas ocasiona desequilíbrios no agroecossistema, prejudicando a capacidade produtiva do solo e aumentando a demanda por insumos externos, como a de fertilizantes.

Na região do Vale do Itajaí (SC), por exemplo, considerada um polo produtor da cultura de cebola no Estado de SC, o SPC do solo no cultivo da cebola tem contribuído efetivamente com a degradação ambiental da região, onde o uso intensivo de arações e gradagens para o preparo do solo, associado ao relevo local, ocasionam perdas superficiais de até 20 cm de sua camada mais fértil do solo, principalmente por erosão hídrica (Gonçalves et al., 2008; Madeira, 2009).

A redução do impacto ambiental do cultivo da cebola pode ser alcançada utilizando-se de técnicas conservacionistas de produção, como, por exemplo, o sistema plantio direto de hortaliças (SPDH). O revolvimento do solo nesse sistema é restrito à linha de plantio e plantas de cobertura são utilizadas para a produção de fitomassa, que é acamada sobre o solo no período da floração com a utilização de um rolo-faca, diferenciando-se do SPD convencional por não utilizar herbicidas ou

qualquer outro agrotóxico, mantendo assim, o solo protegido de fatores erosivos por mais tempo e não oferecendo riscos à qualidade do alimento e aos trabalhadores e consumidores. As espécies utilizadas para a função de cobertura do solo apresentam, também, sistemas radiculares dinâmicos e diferenciados, capazes de absorver nutrientes em maiores profundidades do solo, acumulá-los em sua fitomassa e, posteriormente, disponibilizá-los nas camadas mais superficiais do solo na medida em que ocorre a decomposição de seus resíduos, contribuindo assim, com a ciclagem de nutrientes e promovendo a melhoria dos atributos edáficos (Roscoe et al., 2006; Pauletti et al., 2009; Briedis et al., 2012; Epagri, 2013; Souza et al., 2013; Loss et al., 2011a; 2015).

Em trabalho realizado por Souza et al. (2013), na mesma área experimental deste estudo e na profundidade de 0-10 cm de solo destorroado, os autores verificaram que o cultivo e a deposição de plantas de cobertura no SPDH modificaram os atributos químicos do solo, indicando alterações nos teores de K trocável, P disponível e valor V% em função das espécies utilizadas. Averiguou-se nos dados expostos pelos autores que a testemunha (vegetação espontânea) no primeiro ano de estudo (2011), após o acamamento das plantas de cobertura, apresentou os maiores teores de P e K em relação aos tratamentos centeio, nabo-forrageiro, nabo+centeio e nabo+cevada. No entanto, a produção média e a produção total da cebola foi superior nos tratamentos com plantas de cobertura nas duas safras avaliadas (2011 e 2012).

Em outro estudo também, realizado nesta mesma área com o SPDH e SPC, Loss et al. (2015) avaliaram os teores de COT no solo e a agregação do solo. Esses autores constataram que o SPC desagrega o solo e desfavorece o acúmulo e proteção do COT, quando comparado ao SPDH, que por sua vez, melhorou a agregação do solo, favorecendo a formação de macroagregados estáveis em água e incremento dos teores de COT na profundidade de 0-5 cm.

Diante da importância que a cultura da cebola apresenta na economia e na sociedade brasileira, principalmente no estado de SC, e dos impactos que o SPC do solo causa nas propriedades edáficas e no meio ambiente, o estudo e aprimoramento de tecnologias, tais como, o SPDH, fazem-se necessários na busca de uma agricultura sustentável, que auxilie o processo de transição agroecológica e proporcione um caminho para a segurança alimentar. Por isso, a avaliação dos atributos químicos dos agregados do solo no SPDH submetido à utilização de diferentes plantas de cobertura, permite elencar a influência das espécies, isoladamente ou em consórcio, sobre estes e, deste modo,

contribuir para a caracterização e otimização do uso do SPDH, visando à produção sustentável de cebola.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os atributos químicos dos agregados de um Cambissolo Húmico cultivado com cebola em SPDH e SPC do solo, comparado a uma área de floresta secundária, em Itaporanga, SC.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Localização, histórico de uso e descrição do experimento

Idem ao item 3.2.1

4.2.2 Coleta de amostras de solo e obtenção dos agregados

Idem ao item 3.2.2

4.2.3 Atributos químicos avaliados

Para a realização das análises químicas, os agregados retidos na peneira de 4,00 mm foram destorroados manualmente e passados em uma peneira de 2,00 mm obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA) dos agregados. Neste material foram determinados os atributos: pH em água, teores trocáveis de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} e H+Al , além dos teores disponíveis de K^{+} e P, segundo métodos descritos por Embrapa (1997). Em seguida, foram calculados o Valor $\text{S} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$, $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ (Valor $\text{S} + (\text{H+Al})$), $\text{CTC}_{\text{efetiva}}$ (Valor $\text{S} + \text{Al}$) e $\text{Valor V\%} = (\text{Valor S} / \text{CTC}_{\text{pH}7,0}) * 100$.

4.2.4 Análises estatísticas

Idem ao item 3.2.4

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos sob SPDH (plantas de cobertura) e o SPC apresentaram os maiores valores de pH do solo em relação a área de floresta secundária (mata), que por sua vez, apresentou os maiores teores de Al^{+3} , nas três profundidades avaliadas. Em relação aos tratamentos sob SPDH e SPC, na profundidade de 0-5 cm, os valores de pH foram superiores no SPDH, enquanto na profundidade de 5-10 cm o SPDH e SPC não diferiram e, na profundidade de 10-20 cm, o SPDH com utilização de vegetação espontânea (testemunha) para cobertura do solo

apresentou maior valor de pH em relação aos demais tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6. Atributos químicos dos agregados de um Cambissolo Húmico cultivado com cebola em sistemas de uso do solo e mata.

Tratamentos	pH	P	K	Ca	Mg	Al
		-----(mg dm^{-3})-----		-----($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)-----		
Profundidade 0–5 cm						
Aveia	5,22 a	67,44a	534,38a	8,27a	2,73a	0,03c
Centeio	5,38a	67,39a	565,61a	7,46a	3,01a	0,00c
Nabo	5,26a	70,79a	509,17a	8,23a	2,31b	0,10c
Centeio+Nabo	5,30a	72,89a	462,94a	8,06a	2,63a	0,09c
Aveia+Nabo	5,39a	77,95a	547,46a	8,03a	3,25a	0,05c
Testemunha	5,50a	71,36a	462,95a	8,25a	3,09a	0,22b
SPC	4,98b	79,02a	143,94b	4,80b	2,26b	0,34b
Mata	3,94c	16,36b	124,38b	2,84c	1,40c	4,99 ^a
CV (%)	3,94	10,78	19,17	7,34	17,91	19,09
Profundidade 5–10 cm						
Aveia	5,10a	64,09b	272,17a	6,94a	1,94b	0,11b
Centeio	5,07a	39,07b	305,74a	6,37a	2,08b	0,17b
Nabo	5,05a	56,67b	295,63a	5,88b	2,13b	0,18b
Centeio+Nabo	5,08a	49,31b	276,19a	6,48a	2,08b	0,17b
Aveia+Nabo	5,13a	54,46b	280,34a	5,91b	2,56a	0,14b
Testemunha	5,26a	50,89b	324,62a	5,06b	2,36a	0,13b
SPC	5,00a	99,55a	62,29b	5,91b	2,47a	0,21b
Mata	3,72b	13,31c	70,03b	0,22c	0,94c	6,51a
CV (%)	3,08	21,85	22,61	9,06	14,55	22,66
Profundidade 10–20 cm						
Aveia	5,05b	22,55b	160,37a	5,14b	1,80 c	0,40b
Centeio	5,01b	12,56b	165,74a	5,52a	1,82c	0,47b
Nabo	4,95b	31,38b	135,54a	5,53a	1,54d	0,47b
Centeio+Nabo	4,92b	24,20b	178,75a	4,84b	1,55d	0,64b
Aveia+Nabo	5,13b	18,33b	141,92a	5,62a	2,13b	0,21b
Testemunha	5,32a	14,01b	180,71a	5,26b	1,87c	0,24b
SPC	5,03b	69,74a	55,06b	5,83a	2,39a	0,29b
Mata	3,96c	5,45b	43,34b	0,20c	0,58e	5,98a
CV (%)	3,57	50,03	21,64	8,73	10,52	26,41

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%.
CV= coeficiente de variação.

A maioria dos solos brasileiros são ácidos ($\text{pH} < 5,5$) e podem apresentar problemas de toxidez por Al, que na forma de Al^{+3} é prejudicial para as plantas, influenciando o desenvolvimento de seu sistema radicular e, consequentemente, sua produção (Comin et al., 2006; Meurer et al., 2012). Neste sentido, observou-se que apenas o tratamento com vegetação espontânea, que não diferiu dos demais tratamentos sob SPDH na profundidade 0-5 cm, apresentou valor de pH igual a 5,5, sendo nos demais tratamentos verificados valores inferiores. O padrão apresentado pela vegetação espontânea pode estar relacionado à diversidade de famílias e espécies desse tratamento, que apresentam sistemas radiculares e composição fitoquímica diferenciados, tendo como resultado relações mais complexas com os microrganismos e maior rusticidade e adaptação em relação às demais espécies de cobertura.

No geral, os maiores valores de pH no SPDH em relação aos demais tratamentos são devido, principalmente, ao uso e a manutenção de plantas de cobertura, que, por apresentarem sistemas radiculares dinâmicos e atuantes em diversas profundidades do solo, assim como a produção de fitomassa, favorecem a liberação e exsudação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, principalmente na profundidade 0-5 cm. Isso ocasiona o aumento de cargas negativas no solo e, consequentemente, promove a complexação de íons H e Al, ocasionando o aumento do pH e deixando os cátions Ca, Mg e K mais livres na solução do solo (Franchini et al., 1999; Amaral et al., 2004; Pavinato e Rosolem, 2008). Em estudo sobre a dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de plantas de cobertura, Franchini et al. (1999) observaram que a aplicação de extratos de aveia e nabo forrageiro em coluna de solo promoveu a elevação do pH do solo, de 4,1 para 5,1 e 5,9, respectivamente, para a camada superficial de 0–5 cm, com efeitos gradativamente menores em maiores profundidades.

No SPC, na profundidade de 0-5 cm, as práticas de aração e escarificação favorecem a mineralização dos resíduos vegetais do milheto, proporcionando menor liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular e, assim, menor complexação de íons H e Al, o que é corroborado pelos menores valores de pH e maiores de Al (Tabela 6). Já os menores valores de pH e, consequentemente, maiores teores de Al^{3+} na área de mata são devidos ao fato que este sistema representa a condição natural do solo, onde não há intervenção antrópica.

Em relação ao P, observa-se que os tratamentos sob SPDH e o SPC apresentaram teores superiores aos da área de floresta secundária nas duas primeiras profundidades (0-5 e 5-10 cm). O SPDH e o SPC não

diferiram entre si para esse elemento na profundidade 0-5 cm, porém na profundidade de 5-10 cm, o SPC apresentou maior teor, enquanto na profundidade de 10-20 cm, o SPDH foi semelhante à floresta secundária, apresentando os menores teores de P em relação ao SPC. Para o K, verificou-se que o uso das plantas de cobertura solteiras ou consorciadas, assim como a vegetação espontânea, para o cultivo de cebola em SPDH, apresentaram os maiores teores nas três profundidades avaliadas, e o SPC e floresta secundária não diferiram entre si, apresentando os menores valores (Tabela 6).

Os teores de P disponível e K trocável nos tratamentos sob SPDH e o teor de P no SPC foram interpretados como muito altos nas três profundidades avaliadas, já a área de floresta secundária apresentou teores de P considerados altos nas profundidades 0-5 e 5-10 cm, e teores considerados baixos na profundidade 10-20 cm (CQFS-RS/SC, 2004). Esses resultados dos sistemas de cultivo são decorrentes, além do efeito das plantas de cobertura, das adubações realizadas nas áreas, com P_2O_5 e K_2O .

Observa-se que os diferentes sistemas de manejo do solo (SPDH e SPC) não afetaram os valores de P na camada superficial de 0-5 cm, porém, apresentaram diferenças estatísticas nas profundidades 5-10 e 10-20 cm. Os maiores valores de P no SPC podem estar relacionados com as adições de P e associados aos maiores teores de C-FAF apresentados neste sistema em comparação ao SPDH para as profundidades de 5-10 e 10-20 cm (Tabela 2). Os ácidos fúlvicos, assim com os ácidos orgânicos de baixo peso molecular, também podem competir pelos sítios de adsorção dos aniões fosfatos, favorecendo, assim, a disponibilidade de P para as plantas (Andrade et al., 2003; Pavinato e Rosolem, 2008).

De acordo com Gatiboni et al. (2007), o P adsorvido nos colóides é muito importante para a reposição do P absorvido pelas plantas. Além disso, o P ligado aos sítios da MOS é de maior labilidade, em comparação àqueles ligados às frações minerais, como a argila. É possível que com o revolvimento do solo no SPC, a MOS seja levada às maiores profundidades (5-10 e 10-20 cm), sendo mineralizada mais rapidamente, disponibilizando o P lábil para os microrganismos. Porém, as argilas nesta profundidade, por possuírem sítios não saturados, os quais são ocupados pelo P aumenta sua concentração. Já no SPDH, devido ao revolvimento restrito do solo, o P adicionado pela decomposição dos resíduos vegetais permanece na camada superficial, sendo lentamente incrementado nas demais profundidades pela decomposição de raízes e pela rizosfera.

Os altos teores de P e K encontrados no SPDH e SPC evidenciam a capacidade das plantas de cobertura em contribuir com a ciclagem de nutrientes, onde suas raízes atuam de forma dinâmica no solo, explorando-o em diversas profundidades, absorvendo nutrientes das camadas mais profundas, acumulando em sua fitomassa e depositando-os em superfície na medida em que ocorre sua decomposição, contribuindo assim para a manutenção e, ou, aumento da fertilidade nos agregados do solo (Melo et al., 2011).

Em relação aos menores teores de K no SPC, salienta-se que, embora utilizado o milho como planta de cobertura e incorporado a sua fitomassa no solo, a utilização de arações e gradagens nesse sistema ocasionam a quebra dos agregados (Loss et al., 2015) e, consequentemente, maiores perdas de nutrientes por lixiviação. Segundo Rosolem et al. (2003) e Costa et al. (2005), o K não é componente estrutural de qualquer composto das plantas e a sua mineralização não é um pré-requisito para sua liberação. Porém, ele se encontra na forma de K^+ em circulação nas plantas em grande quantidade e é de uso imediato. Assim, quando a planta é decomposta, ele é totalmente liberado para o solo, podendo ser rapidamente aproveitado por outras plantas, mas, também podem ocorrer perdas por lixiviação, principalmente em solos arenosos ou desestruturados.

Avaliando a influência do K, Ca e Mg na estabilidade de agregados em água de dois Latossolos sob plantio direto por mais de quatro anos, Dufranc et al. (2004) verificaram que o K foi mais importante para a agregação do solo que o Ca e o Mg. Possivelmente, por causa do SPDH aumentar o aporte de COT (Figura 2a) e, por consequência, causar melhorias químicas, físicas e biológicas no solo, o K também é beneficiado por este sistema, sendo observado desta maneira, maiores quantidades deste elemento no SPDH, uma vez que no SPC, a MOS é mineralizada mais rapidamente, tendo menores quantidades de sítios que fazem ligação com o K, acarretando na sua menor quantidade neste sistema.

Quanto aos teores de Ca e Mg trocáveis, o SPDH e o SPC apresentaram maiores teores em relação à floresta secundária nas três profundidades avaliadas. Para o Ca, na profundidade 0-5 cm, todos os tratamentos sob SPDH, e na profundidade de 5-10 cm, os tratamentos com aveia, centeio, e o consórcio de centeio+nabo apresentaram os maiores teores. Na profundidade de 10-20 cm, o centeio, nabo, consórcio de aveia+nabo e SPC tiveram médias superiores aos demais tratamentos. Para o Mg, na profundidade de 0-5 cm, os tratamentos sob SPDH, com exceção do nabo, apresentaram os maiores teores. Na

profundidade de 5-10 cm, os tratamentos aveia+nabo, testemunha e o SPC apresentaram os maiores teores de Mg. Para a profundidade de 10-20 cm, o SPC apresentou os maiores teores de Mg, sendo para o SPDH, o consórcio aveia+nabo de destacou, com os maiores valor de Mg.

Além do efeito da calagem realizada em 1996, no SPDH têm-se os benefícios atribuídos às plantas de cobertura, as quais favorecem o aporte vegetal na superfície e em profundidade, aumentando a ciclagem de nutrientes e contribuindo para a manutenção e, ou, aumento da fertilidade do solo (Melo et al., 2011). A manutenção dos resíduos vegetais das plantas de cobertura na superfície do solo, como ocorre no SPDH, em comparação ao SPC, diminui a ação microbiana em virtude do menor contato com o solo e menor fragmentação dos resíduos que não sofrem o efeito mecânico da incorporação no solo, resultando numa decomposição mais lenta. Dessa forma, no SPDH, que tem constantemente o aporte de resíduos vegetais (parte aérea e radicular), pode ocorrer a produção contínua de compostos orgânicos de baixa massa molecular, sendo seu efeito contínuo na fertilidade dos agregados, e não somente no período de decomposição que se sucede à incorporação, como é o caso do SPC, conforme relatado por Pavinato e Rosolem (2008).

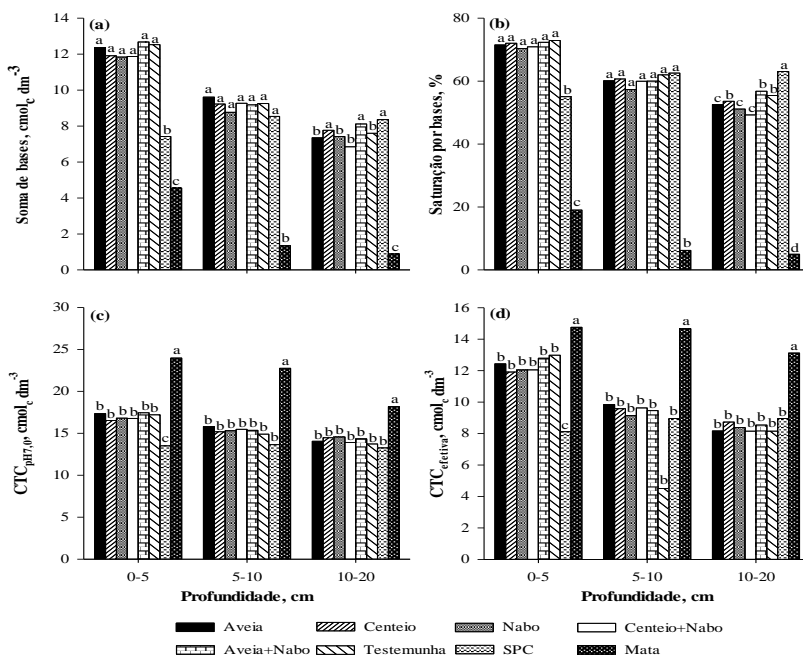
No SPC, em comparação ao SPDH, o preparo do solo ocasiona a ruptura dos agregados e favorece a perda de bases trocáveis, sendo este padrão visível, principalmente, na camada superficial do solo (0-5 cm), onde no SPDH tem-se os maiores valores de Ca, Mg e K (Tabela 6). No SPC, os resultados encontrados (altos teores de P e bases trocáveis) têm relação com a adubação e calagem, bem como o uso do milho como planta de cobertura que, segundo Teixeira et al. (2011), é uma espécie que produz altas quantidades de massa seca e que apresenta alta relação C/N, com degradação mais lenta da biomassa vegetal, além de apresentar acúmulo e liberação gradativa de todos os macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg).

Comparando-se os tratamentos sob SPDH da cebola com o SPC, pode-se inferir que, em especial, na profundidade de 0-5 cm, o uso das plantas de coberturas solteiras e consorciadas favoreceu o incremento de K, Ca e Mg, assim como maiores valores de pH e menores de Al (exceto para a testemunha) nos agregados do solo, favorecidos pelo não revolvimento do solo e a intensa atividade dos sistemas radiculares dessas plantas, somado à liberação e ciclagem de nutrientes da biomassa vegetal. Esses resultados são corroborados pelos maiores índices de agregação (diâmetro médio geométrico - DMG) no SPDH em comparação ao SPC nas três profundidades avaliadas, assim como

também no SPDH verificaram-se maiores valores de DMG nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm em comparação a mata (Loss et al., 2015).

Quanto à soma de bases, a área de mata apresentou os menores valores em todas as profundidades avaliadas. Na profundidade de 0-5 cm, os tratamentos sob SPDH apresentaram os maiores valores, na profundidade de 5-10 cm, o SPDH e SPC não diferiram, e na de 10-20 cm, os tratamentos aveia, nabo, centeio+nabo e testemunha apresentaram os menores valores em comparação ao SPC. Observa-se que os valores de soma de bases no SPC tendem a aumentar em profundidade, padrão decorrente do revolvimento e homogeneização do solo. Esta hipótese é sustentada por este comportamento não ocorrer nos demais tratamentos, que ao contrário do SPC, apresentaram diminuição dos valores da soma de bases com a profundidade (Figura 4a).

Figura 4. Soma de bases (a), saturação por bases (b), CTC a $\text{pH}_{7,0}$ (c) e CTC efetiva (d) em agregados do solo sob sistemas de uso com cultivo de cebola e mata.



Letras diferentes para o mesmo atributo avaliado, em cada profundidade, indicam diferenças estatísticas pelo teste de Scott-Knott a 5%.

Os elevados valores de S e V% nos tratamentos sob SPDH (Figura 4) são decorrentes da calagem feita no passado, aliados aos efeitos benéficos das plantas de cobertura, os quais contribuíram para a diminuição dos teores de Al (Tabela 6) e aumento das bases trocáveis do solo. Na mata, por não haver alterações antrópicas, teores de Al são elevados e os valores de pH, S e V% são baixos.

É importante observar o comportamento dos diferentes tratamentos, principalmente comparando-os com a mata, em relação aos elementos presentes no solo. De acordo com Ronquim (2010), o V% é um importante indicador das condições gerais do solo, sendo que um índice baixo indica pequenas quantidades de cátions (Ca, Mg e K) saturando os colóides, sendo estes, portanto, ocupados em grande parte por H^+ e Al^{3+} .

Observando-se o comportamento do valor S com a $CTC_{pH7,0}$, é possível visualizar que na mata, embora esta possua o maior valor de CTC (Figuras 3c e 3d), a sua soma de bases é baixa (Figura 4a), indicando que as bases Ca, Mg e K estão em baixas concentrações, isso porque seus sítios de ligação estão em grande parte ocupados por íons de Al^{3+} e H^+ . Isto pode ser observado na Tabela 6, pois a mata apresentou o menor valor de pH e, conseqüentemente, as maiores quantidades de Al. Após a mata, o SPC apresentou o menor Valor S e V% na profundidade de 0-5 cm, bem como menor CTC, sendo este comportamento devido ao manejo, que afeta negativamente os agregados do solo, favorecendo a mineralização da MOS e, por consequência, a capacidade de ligação dos elementos e permanência deles nos colóides do solo.

Para os atributos $CTC_{efetiva}$ e $CTC_{pH7,0}$, a área de mata apresentou os maiores valores nas três profundidades. Na profundidade de 0-5 cm, o SPC apresentou o menor valor e nas demais profundidades não foram verificadas diferenças entre o SPC e o SPDH, ambos apresentando valores inferiores aos encontrados na área de mata (Figura 4c e 3d). Este padrão está relacionado às taxas de adição de resíduos vegetais nos sistemas, incremento e proteção da matéria orgânica e favorecimento à agregação do solo na área de mata e nos tratamentos sob SPDH (Loss et al., 2015). Em trabalho realizado por Fontana et al. (2006), os autores evidenciaram que os sistemas de plantio direto e cultivo mínimo proporcionaram aumentos significativos do COT, Ca, Mg, P, K, elevação do pH, maior CTC e soma de bases e diminuição dos teores de Al, em relação ao SPC. Ainda, estes autores propõem que a MOS, em solos tropicais e subtropicais, é responsável por 75 a 90% da CTC do solo. Estes resultados corroboram a elevada CTC encontrada na área de

mata, onde o elevado conteúdo de COT do solo (Figura 2a) apresenta alta concentração de sítios de adsorção, os quais favorecem a maior CTC. Ainda, Bayer & Mielniczuk (1999), descreveram que o SPD favorece o aumento na CTC devido à maior proteção física da MOS nos agregados do solo.

4.4 CONCLUSÕES

O cultivo da cebola sob SPDH com plantas de cobertura contribui para a ciclagem de nutrientes, aumentando o pH, o Ca e o Mg, a saturação por bases e a CTC dos agregados solo na profundidade de 0-5 cm, quando comparado ao SPC. Para o K o aumento foi verificado para 0-20 cm. O SPC proporcionou para alguns atributos químicos valores semelhantes e até maiores em relação ao SPDH . nas profundidades de 5-10 e 10-20 cm

O SPDH se constitui numa ferramenta útil e com potencial para o processo de transição agroecológica uma vez que contribui com a melhoria das propriedades químicas do solo e, consequentemente, pode diminuir a necessidade de utilização de adubos de alta solubilidade, contribuindo assim com a melhoria e, ou, manutenção da qualidade edáfica e ambiental ao longo dos anos.

5.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O manejo do solo para fins agrícolas quando realizado de forma adequada, principalmente nas condições subtropicais do sul do Brasil, melhora a qualidade edáfica e contribui para a manutenção da capacidade produtiva e sustentabilidade dos agroecossistemas. Neste sentido, o SPDH aplicado no cultivo da cebola é uma ferramenta com potencial de aliar o equilíbrio e a produtividade agrícola com a segurança alimentar e preservação ambiental.

Este sistema mostrou-se eficiente em contribuir para o sequestro de carbono atmosférico e favorecer o incremento de nutrientes nos agregados do solo. O SPC, por sua vez, embora apresentado resultados aquém aos do SPDH, evidenciou que o uso do milheto como planta de cobertura, por apresentar uma alta relação C:N, contribuiu para a melhoria das propriedades do solo avaliadas, se comparado a outros estudos realizados com o SPC sem plantas de cobertura.

Dentre os tratamentos sob o SPDH, observou-se que as plantas espontâneas (testemunha) neste estudo, quando mantidas no agroecossistema e acamadas para posterior cultivo da cebola oferecem melhorias nas propriedades do solo semelhantes, e para alguns atributos, superiores as demais espécies de plantas de cobertura avaliadas, mas, principalmente em relação ao SPC, onde seu controle é realizado pela aplicação de herbicidas.

No geral, observa-se que a substituição de práticas de manejo convencional do solo por práticas conservacionistas melhora propriedades edáficas, sendo essa melhoria mais acentuada nos tratamentos de maior complexidade, caso dos consórcios de plantas de cobertura, podendo indicar que a sustentabilidade dos agroecossistemas é favorecida pela complexação dos sistemas de cultivo. No entanto, recomenda-se a continuidade do estudo e novas avaliações, uma vez que o sistema não se encontra consolidado e com sua consolidação possa melhorar ainda mais as propriedades do solo avaliadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACATE. Associação Catarinense de Empresas de Tecnologia. **Agronegócio e tecnologia**. Santa Catarina. Anuário 2014. 96p. Disponível em: < <https://www.acate.com.br/node/69633>>. Acesso em: 03 set. 2015.

ALBUQUERQUE, A.W.; LOMBARDI NETO, F.; SRINIVASAN, V.S. & SANTOS, J.R. Manejo da cobertura do solo e de práticas conservacionistas nas perdas de solo e água em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.136-141, 2002.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. v.28, n.1, p. 115-123, 2004.

ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ V., V.H. & NOVAIS, R.F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:1003-1011, 2003.

ASSIS, C. P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 10, p. 1541-1550, 2006.

BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, v. 31, n. 07/08, p. 697-710, 2000.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.7, p.677-683, 2004.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & CERETTA, C.A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil Tillage Research**, v. 53, p. 95-104, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P. R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected

by no-tillage on a subtropical soil. **Plant Soil**, v. 238, n. 01, p. 133-140, 2002.

BAYER, C. & MIELNICZUK, J. **Dinâmica e função da matéria orgânica**. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, p.9-26, 1999.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos** (Comunicado Técnico, 16) 7p, 2003.

BENITES, V. M.; MOUTTA, R. O.; COUTINHO, H. L. C.; BALIEIRO, F. C. Análise discriminante de solos sob diferentes usos em área de Mata Atlântica a partir de atributos da matéria orgânica. **Revista Árvore**, v.34, p. 685-690, 2010.

BEUTLER, S.J. ; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. dos. Humic substances and phosphorus fractions in areas with crop-livestock integration, pasture and natural Cerrado Vegetation in Goiás. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v.18, p. 11-25, 2015.

BLAIR, G. J.; CHAPMAN, L.; WHITBREAD, A. M., BAL-COELHO, B., LARSEN, P., TIESSEN H. Soil carbon changes resulting from trash management at two locations in Queensland, Australia and in North-east Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, v.6, n.4, p.873-882, 1998.

BORGES, C. S.; RIBEIRO, B. T.; WENDLING, B.; CABRAL, D. A. Agregação do solo, carbono orgânico e emissão de CO₂ em áreas sob diferentes usos no Cerrado, região do Triângulo Mineiro. **Revista Ambiente e Água**, v.10, p.660-675, 2015.

BOT, A.J.; NACHTERGAELE, F.O. & YOUNG, A. Land resource potential and constraints at regional and country levels. **Rome, Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization**. 114p. 2000.

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. D. M.; DE-CARLI, R. S., ANTUNES, E. A. P., SIMON, L., ROMKO, M. L., FERREIRA, A. D. O. . Particulate soil organic carbon and stratification ratio increases in response to crop residue decomposition under no-till. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1483-1490, 2012.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1-2, p. 3–22, 2005.

CALEGARI, A., FILHO, C. DE C., FILHO, J. T., RALISCH, R., GUIMARÃES, M. DE F., 2006. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Ciências Agrárias**, v.28, p.147–157. 2006.

CAMARGO, F.A.C.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J. & VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre, Genesis, p.117-137, 1999.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.777-783, 1992.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhço e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.5, p. 935-944, 2003.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; RUMJANEK, V. M.; GURIDI, F.; OLIVARES, F. L.; SANTOS, G. A.; BRAZ FILHO, R. Distribution of the humified fractions and characteristics of the humic acids of an ultisol under cultivation of Eucalyptus and sugar cane. **Terra Chapingo**, v.20, n.4, p.371-381, 2002.

CASALI, C. A. **Sistemas de culturas sob diferentes manejos em longa duração alteram as formas de fósforo do solo?** 2012. 149p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo de amostras. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 527-538, 1998.

CASTRO, N. E. A.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F.; CARVALHO, G. J.; MARQUES, R. M.; NETO, G. F. G. Plantas de cobertura no controle da erosão hídrica sob chuvas naturais. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 5, p. 775–785, 2011.

COMIN, J. J.; BARLOY, J.; HALLAIRE, V.; ZANETTE, F.; Miller, P. R. M. Effects of aluminium on the adventitious root system, aerial biomass and grain yield of maize grown in the field and in a rhizotron. **Experimental Agriculture**, v. 42, n.3, p. 351-366, 2006.

COSTA, G.S.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; CUNHA, G.M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de Eucalyptus granáis no norte fluminense. **Revista Árvore**, v. 29, p. 563-570, 2005.

COSTA JR., C.; PICCOLO, M.C.; SIQUEIRA NETO, M.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1-12, 2012.

COSTA, NIVALDO DUARTE. Manejo cultura da cebola. In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SEMANA ITINERANTE PROJETO LAGO DE SOBRADINHO, 1., 2014, Petrolina. Palestras... Petrolina: Embrapa Semiárido, 2014. 2015.

COUTINHO, F. S.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; RODRIGUES JÚNIOR, D. J.; TORRES, J. L. R. Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto, Uberaba, MG. **Comunicata Scientiae**, v.1, p.100-105, 2010.

CRUSCIOL, C. A. C.; COTTICA, R. L.; LIMA, E. V.; ANDREOTTI, M.; MORO, E.; MARCON, E. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo-forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 2, p. 161–168, 2005.

CUNHA, T.J.F.; MADARI, B.E.; BENITES, V.M.; CANELLAS, L.P.; NOVOTNY, E.H.; MOUTTA, R.O.; TROMPOWSKY, P.M.; SANTOS, G.A. Fracionamento químico da matéria orgânica e características de ácidos húmicos de solos com horizonte A antrópico da Amazônia (Terra Preta). **Acta Amazônica**, v.37, p.91-98, 2007.

DA ROS, C.O. **Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto**. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 85p. 1993.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. **Química da matéria orgânica do solo**. Viçosa: SBCS, p.1-69, 2009.

EBELING, A. G., DOS ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.,

PINHEIRO, É. F. M., & VALLADARES, G. S. Substâncias húmicas e relação com atributos edáficos. **Bragantia**, v.70, p.157-165, 2011.

DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; MIOLA, E. C. C.; GIACOMINI, D. A.; SCHIRMANN, J.; GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.1714-1723, 2012.

DUFRANC, G.; DECHEN, S.C.F.; FREITAS, S.S.; CAMARGO, O.A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.505-517, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária de Solos. **Manual de Métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 212p, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Rio de Janeiro, 3536p, 2013.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA - EPAGRI. **Sistema de produção para cebola**: Santa Catarina (4ª revisão). Florianópolis, EPAGRI, 106 p, 2013.

EPAGRI. **Sistema de Plantio Direto de Hortaliças**: O cultivo do tomateiro no Vale do Peixe, SC, em 101 respostas dos agricultores. Florianópolis: (Epagri. Boletim Didático. 57). 53p, 2004.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **Escassez e degradação dos solos e da água ameaçam segurança alimentar**. [Internet] 2015. [acesso 2015 Dez 10]; Disponível em <<https://www.fao.org.br/edsaasa.asp>>.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; BRITO, R. J.; LOSS, A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em Latossolos e Argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. **Agrária**, v.5, p.291-297, 2010.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.41, p. 847-853, 2006.

FRANCHINI, J. C.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.34, n.12, p. 2267-2276, 1999.

FREITAS, A.C. Cebola Catarinense no topo. **Revista Agropecuária Catarinense**, v. 25(3), p.20-25, 2012.

GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. D. S.; FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.4, p.691-699, 2007.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; HUBNER, A. P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E.; AMARAL, E. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 1, p. 1097-1104, 2003.

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; BALIEIRO, F. C. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição das frações húmicas no solo sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias, Recife**, v.3, p.42-48, 2008.

GONÇALVES, P.A de S.; BOFF, P.; ROWE, E. **Referências tecnológicas para a produção de cebola em sistemas orgânicos**. Epagri Florianópolis, v.142.21p, 2008.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Frações da matéria orgânica em áreas de Latossolo sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado do estado de Goiás. **Semina. Ciências Agrárias**, v.34, p.2615-2628, 2013.

GUEDES FILHO, O.; SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A. Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage. **Geoderma**, v.204-205, p.94-101, 2013.

GUERRA, J., SANTOS, G. D. A., SILVA, L. D., CAMARGO, F. D. O., & SANTOS, G. D. A. Macromoléculas e substâncias húmicas. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**, v.2, p.19-26. 2008.

HERMAWAN, B.; BOMKE, A. A. Effects of winter cover crops and successive spring tillage on soil aggregation. **Soil and Tillage Research**, v. 44, n. 1-2, p. 109–120, 1997.

HERNANI, L.C.; KURIHARA, C.H. & SILVA, W.M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.145-154, 1999.

HOORMAN, J. J. **Using Cover Crops to Improve Soil and Water Quality. Agriculture and Natural Resources**. The Ohio State University Extension, Lima, Ohio. 4p, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro, 2015. v.29(6), 81p. Disponível em: < [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/lspa_201506.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_201506.pdf) >. Acesso em 03 set. 2015.

KLIEMANN, J.H.; BRAZ, A.J.P.B. & SILVEIRA, P.M. Taxas de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distroférrico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, p.21-28. 2006.

KONONOVA, M. M. **Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación**. Barcelona: Oikos-tau, 364 p, 1982.

LABRADOR MORENO, J. **La matéria organica en los agrosistemas**. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madri, 176 p, 1996.

LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L.; MACHADO, P.L.O.; GALVÃO, J.C.C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.821-832, 2003.

LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. (Org.). **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**, vol. 1. 1.ed. Brasília-DF: Embrapa, v.2, 507p, 2014.

LIU, A.; MA, B. L.; BOMKE, A. A. Effects of cover crops on soil aggregate stability, total organic carbon, and polysaccharides. **Soil Science Society of America Journal**, v. 69, n. 2, p. 2041-2048, 2005.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. **Fertilidade do Solo. Viçosa, SBCS**, p. 1-64, 2007.

LOPES, A. S. Reservas de minerais potássicos e produção de fertilizantes potássicos no Brasil. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. (Org.). **Potássio na Agricultura Brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, p. 22-32, 2005.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. P.; OLIVEIRA, R.A.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional de cebola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.01-13, 2015.

LOSS, A.; COSTA, E. M.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J. Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo. **Revista de la Facultad Agronomia**, v.113, p.01- 08, 2014.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; BRITO, R. J. de; ARINELLI, G. P. de. Atributos químicos e físicos de solos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. **Magistra**, v.19, p.150-162, 2007.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; BEUTLER, S. J.; ANJOS, L. H. C. dos . Oxidizable carbon and humic substances in rotation systems with brachiaria/livestock and pearl millet/no livestock in the Brazilian Cerrado. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v.11, p. 217-231, 2013.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Bragantia**, v.69, p. 913-922, 2010.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G; GIÁCOMO, S.G; PERIN, A; ANJOS, L.H.C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. v.46, p.1269-1276, 2011a.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; COUTINHO, F. S.; ANJOS, L. H. C. Particulate organic matter in soil under different management systems in the Brazilian Cerrado. **Soil Research**, v.50, p.685-693, 2012.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em diferentes sistemas de produção orgânica. *Idesia*, v. 29, p. 11-19, 2011b.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção. *Ciência Rural*, v. 39, p. 1067-1072, 2009.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C. & VEZZANI, F. Carbono e nitrogênio adicionados e sua relação com o rendimento do milho e estoques destes elementos no solo em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 28, p. 175187, 2004.

MACHADO, L. V.; RANGEL, O. J. P.; DE SÁ MENDONÇA, E.; MACHADO, R. V.; FERRARI, J. L. Fertilidade e compartimentos da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Coffee Science**, v.9, p. 289-299, 2014.

MACHADO, P. O. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, São Paulo, v.28, n. 2, p. 239-334, 2005.

MACHADO, P. L. O. A.; GERZABEK, M. Tillage and crop rotation interactions on humic substances of a typic haplorthox from southern Brazil. **Soil Tillage Research**, v.26, p.227-236. 1993.

MADEIRA N. R. Avanços tecnológicos no cultivo de hortaliças em sistema de plantio direto. **Horticultura Brasileira**. v. 27, p. S4036-S4037, 2009.

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. D. F. F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A. D.; ROSA, J. D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, v. 32, p. 217-224, 2008.

MELO, A.V; GALVÃO, J.C.C; BRAUN, H; SANTOS, M.M; COIMBRA, R.R; SILVA, R.R; REIS, W.F. Extração de nutrientes e produção de biomassa de aveia-preta cultivada em solo submetido a 18 anos de adubação orgânica e mineral. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*. v. 32 (2), p. 411-420, 2011.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo-ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, p.1-8, 1999..

MONEGAT, C. Manejo de plantas de cobertura do solo em pequenas propriedades. Plantas de Cobertura do Solo: características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó, **Ed. do Autor**. p.146-239, 1991.

MRABET, R. Soil quality and carbon sequestration: Impacts of no-tillage systems. **Options Méditerranéennes**, v.69, p. 43-55. 2006.

NASCIMENTO, J. T., SILVA, I. DE F. DA, SANTIAGO, R.D., SILVA NETO, L. DE F. DA. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvisolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p.825–831. 2005.

NASCIMENTO, P. C.; LANI, J. L.; MENDONÇA, E. S.; ZOFFOLI, H. J. O.; PEIXOTO, H. T. M. Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, p. 339-348, 2010.

OLIVEIRA, R. A. DE. **Decomposição de plantas de cobertura e efeito no rendimento da cebola e na biodisponibilidade de fósforo em sistema de plantio direto**. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

PAGLIARINI, M. K. ; MENDONCA, V. Z. ; ALVES, M. C. . Distribuição de tamanho de agregados estáveis em água em solos de Selvíria-MS e Ilha Solteira-SP, Brasil. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 5, p. 45-50, 2012.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S. DE; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n.5, p. 1777–1786, 2011.

PASSOS, R. R.; RUIZ, H. A.; MENDONÇA, E. S.; CANTARUTTI, R. B.; SOUZA, A. P. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. v. 31, p. 1119-1129, 2007.

PAULETTI, V. et al. Atributos químicos de um Latossolo bruno sob sistema plantio direto em função da estratégia de adubação e do método de amostragem de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.581-590, 2009.

PAVINATO, S. P. & ROSOLEM, A. C. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos

vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32, n.3, p. 911-920, 2008.

PEDRA, W. N., PEDROTTI, A., SILVA, T. O., DE MACEDO, F. L.; GONZAGA, M. I. S. Estoques de carbono e nitrogênio sob diferentes condições de manejo de um Argissolo Vermelho Amarelo, cultivado com milho doce nos tabuleiros costeiros de Sergipe. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 33, p. 2075-2090, 2012.

PEREIRA NETO, O. C., GUIMARÃES, M. D. F., RALISCH, R.; FONSECA, I. C. Análise do tempo de consolidação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.11, p. 489-496, 2007.

ROSA, C. M.; CASTILHOS, R. M. V.; PAULETTO, E. A.; PILLON, C. N. & LEAL, O. A. Conteúdo de carbono orgânico em Planossolo Háplico sob sistemas de manejo do arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35, p. 1769-1776, 2011.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Campinas: **Embrapa Monitoramento por Satélite**, 2010.

ROSCOE, R; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. **Dinâmica da matéria orgânica de solo em sistemas conservacionistas**: Modelagem matemática e métodos auxiliares. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 304p, 2006.

ROSOLEM, C.A.; CALONEGO, J.C.; FOLONI, J.S.S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de solo de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.355-362, 2003.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.43, n.1, p.38-46, 2012.

SANTOS, L. L.; LACERDA, J. J. J.; ZINN, Y. L. Partição de substâncias húmicas em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 37, p. 955-968, 2013.

SCHOLES, R. J.; BREEMEN, N. The effects of global change on tropical ecosystems. **Geoderma**, v. 79(1), p. 9-24, 1997.

SILVA, J. E. & RESCK, D. V. S. **Matéria orgânica do solo**. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M. (Ed.). *Biologia dos solos dos cerrados*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, p. 467-524, 1997.

SILVA, LS da; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, FA de O. Fundamentos de matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. **Porto Alegre: Metrópole**, p. 1, 2008.

SLEPETIENE, A.; SLEPETYS, J. Status of humus in soil under various long-term tillage systems. **Geoderma**, v.127, p.207-215, 2005.

SOUZA, M.; COMIN, J.J.; LEGUIZAMÓN, E.S.; KURTZ, C.; BRUNETTO, G.; MÜLLER JÚNIOR, V.; VENTURA, B.; CAMARGO, A.P. Matéria seca de plantas de cobertura, produção de cebola e atributos químicos do solo em sistema plantio direto agroecológico. **Ciencia Rural**. v. 43, p. 21-27, 2013.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley & Sons, 496p, 1994.

SWIFT, R. S.; SPARKS, D. L.; PAGE, A. L.; HELMKE, P. A.; LOEPPERT, R. H.; SOLTANPOUR, P. N.; TABATABAI, M. A.; JOHNSTON, C. T.; SUMNER, M. E. Organic matter characterization. **Methods of soil analysis**. Part 3-chemical methods. p. 1011-1069, 1996.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C. & BISSANI, C.A. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 174p., 1995.

TEIXEIRA, A.H.C. Embrapa Semiárido. **Sistemas de Produção 1**, ISSN 1807-0027, Versão Eletrônica. 2004.

TEIXEIRA, M. B.; LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PIMENTEL, C. Decomposição e liberação de nutrientes da parte aérea de plantas de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 867-876, 2011.

VERGUTZ, L.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; BARROS, N. F.; NUNES, T. N.; PIAU, A. A. M. Mudanças na matéria orgânica do solo causadas pelo tempo de adoção de um sistema agrossilvopastoril com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p.43-57, 2010.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science Plant Analise**. v.19, p.1467-1476, 1988.

ZINN, Y. L.; DIMAS, V. S.; SILVA, J. E. Soil organic carbon as affected by afforestation with Eucalyptus and Pinus in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology and Management, Amsterdam**. v. 166, n. 3, p. 285-294, 2002.